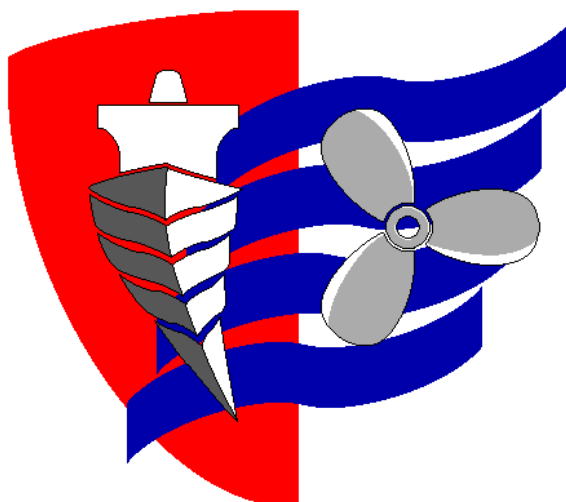


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**EFFECTO DEL PROTOCOLO DE PINTADO
FRENTE A LA CORROSIÓN MARINA EN
DOS SISTEMAS METÁLICOS EMPLEADOS
EN CONSTRUCCIÓN NAVAL**

**(PAINT SYSTEM PROTOCOL ON MARINE CORROSION
BEHAVIOR OF TWO METALLIC SYSTEMS USED IN
SHIPBUILDING)**

**Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARÍTIMA**

**Autora: Angélica Palacios Vélez
Directora: María Victoria Biezma Moraleda**

Octubre– 2015

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**

Trabajo Fin de Grado

**EFFECTO DEL PROTOCOLO DE PINTADO
FRENTE A LA CORROSIÓN MARINA EN
DOS SISTEMAS METÁLICOS EMPLEADOS
EN CONSTRUCCIÓN NAVAL**

**(PAINT SYSTEM PROTOCOL ON MARINE CORROSION
BEHAVIOR OF TWO METALLIC SYSTEMS USED IN
SHIPBUILDING)**

**Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARÍTIMA**

Octubre-2015

Índice

1. Objetivo y planteamiento.....	8
2. Palabras clave.....	13
3. Estado del arte.....	14
3.1. Introducción.....	15
3.2. Materiales empleados en la construcción naval.....	15
3.2.1. Acero de construcción naval.....	17
3.2.1.1. Proceso de obtención del acero de Construcción naval.....	19
3.2.1.2. Propiedades químicas y físicas del acero de Construcción naval.....	20
3.2.1.3. Propiedades mecánicas del acero de construcción naval..	24
3.2.1.4. Tipos de acero de construcción naval.....	26
3.2.1.4.1. Acero bajo en carbono.....	26
3.2.1.4.2. Acero medio en carbono.....	27
3.2.1.4.3. Acero alto en carbono.....	28
3.2.2. Aluminio y sus aleaciones.....	28
3.2.2.1. Proceso de obtención del aluminio y sus aleaciones.....	31
3.2.2.2. Propiedades químicas del aluminio y sus aleaciones.....	32
3.2.2.3. Propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones.....	34
3.2.3. Cobre y aleaciones con base de cobre.....	37
3.2.3.1. Proceso de obtención del cobre.....	38
3.2.3.2. Propiedades mecánicas del cobre.....	40
3.2.3.3. Principales aleaciones del cobre.....	41

3.2.3.3.1.	Bronce.....	41
3.2.3.3.1.1.	Propiedades físicas y químicas del bronce.....	45
3.2.3.3.2.	Latón.....	47
3.2.4.	Titanio y sus aleaciones.....	49
3.2.4.1.	Proceso de obtención del titanio.....	51
3.2.4.2.	Propiedades químicas del titanio.....	51
3.2.4.3.	Propiedades mecánicas del titanio.....	52
3.2.5.	Madera.....	53
3.2.5.1.	Dimensiones y formas.....	58
3.2.5.2.	Proceso constructivo.....	58
3.2.6.	Materiales compuestos.....	58
3.2.6.1.	Clasificación de los polímeros.....	60
3.2.6.2.	Resinas.....	61
3.3.	Ensayos de caracterización de los materiales de construcción naval.....	61
3.3.1.	Requerimientos en la selección de materiales.....	64
3.3.2.	Factores de diseño en la selección de materiales.....	64
3.3.3.	Ensayos no destructivos en los materiales.....	65
3.3.3.1.	Ensayo visual.....	66
3.3.3.2.	Ensayo con ultrasonidos.....	66
3.3.3.3.	Ensayo mediante partículas magnéticas.....	69
3.3.3.4.	Ensayo mediante líquidos penetrantes.....	71
3.3.3.5.	Ensayo mediante corrientes inducidas.....	75
3.3.4.	Ensayos destructivos.....	77
3.3.4.1.	Ensayos estáticos.....	78

3.3.4.1.1.	Ensayo de tracción.....	78
3.3.4.1.2.	Ensayo de dureza.....	82
3.3.4.1.3.	Ensayo de plegado.....	84
3.3.4.1.4.	Ensayo de flexión.....	85
3.3.4.1.5.	Ensayo de torsión.....	86
3.3.4.1.6.	Ensayo de cizalla.....	87
3.3.4.2.	Ensayos dinámicos. Péndulo de Charpy.....	87
3.3.4.3.	Ensayo de fatiga.....	88
3.4.	Tipos de corrosión que experimentan los materiales empleados	
	en construcción naval.....	90
3.4.1.	Clasificación de los tipos de corrosión.....	93
3.4.1.1.	Corrosión uniforme.....	95
3.4.1.2.	Corrosión galvánica.....	98
3.4.1.3.	Corrosión por picadura.....	99
3.4.1.4.	Corrosión selectiva.....	101
3.4.1.5.	Corrosión por erosión.....	101
3.4.1.6.	Corrosión por cavitación.....	102
3.4.1.7.	Corrosión por resquicios.....	103
3.4.1.8.	Corrosión bajo tensión.....	104
3.4.1.9.	Corrosión por fatiga.....	105
3.4.1.10.	Corrosión por fricción.....	105
3.4.1.11.	Corrosión intergranular.....	106
3.4.1.12.	Corrosión microbiológica.....	107
3.5.	Tratamientos anticorrosivos empleados en ambientes marinos.....	108

3.5.1. Protección catódica.....	109
3.5.1.1. Ánodos de sacrificio.....	110
3.5.1.2. Corrientes impresas.....	115
3.5.2. Recubrimientos orgánicos. Pinturas.....	117
3.5.2.1. Pinturas antiincrustantes.....	119
3.5.2.2. Calidad de la pintura.....	121
3.6. Preparación de las superficies antes de recibir un sistema anticorrosivo	
base de pinturas.....	125
3.6.1. Normativa.....	126
3.6.2. Impurezas.....	126
3.6.2.1. Defectos de la superficie.....	127
3.6.2.2. Aceite y grasas.....	128
3.6.3. Resultado de las superficies.....	130
3.6.4. Proceso de chorreado.....	130
3.6.4.1. Tipos de abrasivos.....	131
3.6.4.2. Chorreado de arena.....	132
3.6.4.2.1. Proceso de chorreado con arena.....	132
3.6.4.2.2. Chorreado con granallado.....	133
3.6.5. Aceptación final de la superficie pintada.....	134
3.7. Equipos de trabajo e inspección empleados durante la aplicación	
de pinturas marinas.....	135
3.7.1. Equipos de trabajo.....	135
3.7.2. Equipos de inspección.....	137
3.7.2.1. Equipos especiales.....	138

4. Metodología.....	140
4.1. Introducción.....	141
4.2. Materiales.....	141
4.2.1. Acero de construcción naval.....	142
4.2.2. Aleación base aluminio.....	144
4.3. Sistema de pintura aplicado.....	146
4.3.1. Acero de construcción naval.....	149
4.3.1.1. Grupo A.....	153
4.3.1.2. Grupo B.....	154
4.3.1.3. Grupo C.....	156
4.3.1.4. Grupo D.....	156
4.3.1.5. Grupo E.....	157
4.3.1.6. Grupo F.....	158
4.3.2. Aleación base aluminio.....	158
4.4. Electrolito empleado.....	165
5. Resultado y análisis.....	168
5.1. Introducción.....	169
5.2. Acero de construcción naval.....	169
5.2.1. Grupo A.....	177
5.2.2. Grupo B.....	179
5.2.3. Grupo C.....	180
5.2.4. Grupo D.....	181
5.2.5. Grupo E.....	183
5.2.6. Grupo F.....	184

5.2.7. Comparativa de la superficie perdida debido a la corrosión de las diferentes probetas.....	185
5.2.7.1. Grupo C.....	186
5.2.7.2. Grupo E.....	187
5.2.7.3. Grupo D.....	189
5.2.8. Análisis final.....	190
5.3. Aleación base aluminio.....	191
6. Presupuesto.....	233
6.1. Introducción.....	234
6.2. Precio de los metales.....	234
6.3. Pinturas especializadas diseñadas para tratamientos anticorrosivos en agua de mar.....	239
6.4. Coste final para aplicar el protocolo en un buque.....	240
7. Conclusiones.....	243
8. Referencias bibliográficas.....	248
Anexo I- Listado Figuras.....	256
Anexo II- Listado Tablas.....	265
Anexo III- Normativa.....	271

Capítulo 1-

Objetivo y planteamiento

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es observar el comportamiento de los dos elementos metálicos más empleados en la construcción frente a diferentes sistemas de pintado.

La corrosión supone en la actualidad una pérdida económica en el Producto Interior Bruto (PIB) en naciones desarrolladas como Estados Unidos, Reino Unido o Japón; esto se debe a que en aquellos sistemas metálicos expuestos a ambientes corrosivos no se ha empleado el metal correcto o que la pieza no ha sido diseñada adecuadamente, principalmente, es que, una vez que ha aparecido la corrosión, los elementos no reciben un tratamiento adecuado anticorrosivo. Por norma general, se intenta solucionar este problema a base de métodos anticorrosivos como pinturas, pero estas no se aplican siguiendo el protocolo establecido en la normativa europea, provocando finalmente pérdidas económicas elevadas.

En este Trabajo Fin de Grado nos centraremos en cómo se puede solucionar este problema usando uno de los tratamientos anticorrosivos más importantes, como son las pinturas especialmente diseñadas para proteger contra la corrosión diferentes sistemas metálicos en ambientes marinos y así reducir las pérdidas económicas. Se llevará a cabo un estudio de dos de los metales más empleados en la actualidad en la construcción naval: el acero de construcción naval y el aluminio. Sumergiremos en agua de mar probetas de estos sistemas metálicos y observaremos como en ellas comienza a aparecer el fenómeno de la corrosión. Posteriormente, parte de las probetas recibirán un tratamiento adecuado a base de pinturas específicas empleadas como tratamientos anticorrosivos que serán aplicadas según la normativa UNE pertinente. Las probetas restantes recibirán un tratamiento a base de pinturas especialmente diseñadas para proteger contra la corrosión diferentes sistemas metálicos pero esta vez no se tendrá en cuenta la normativa.

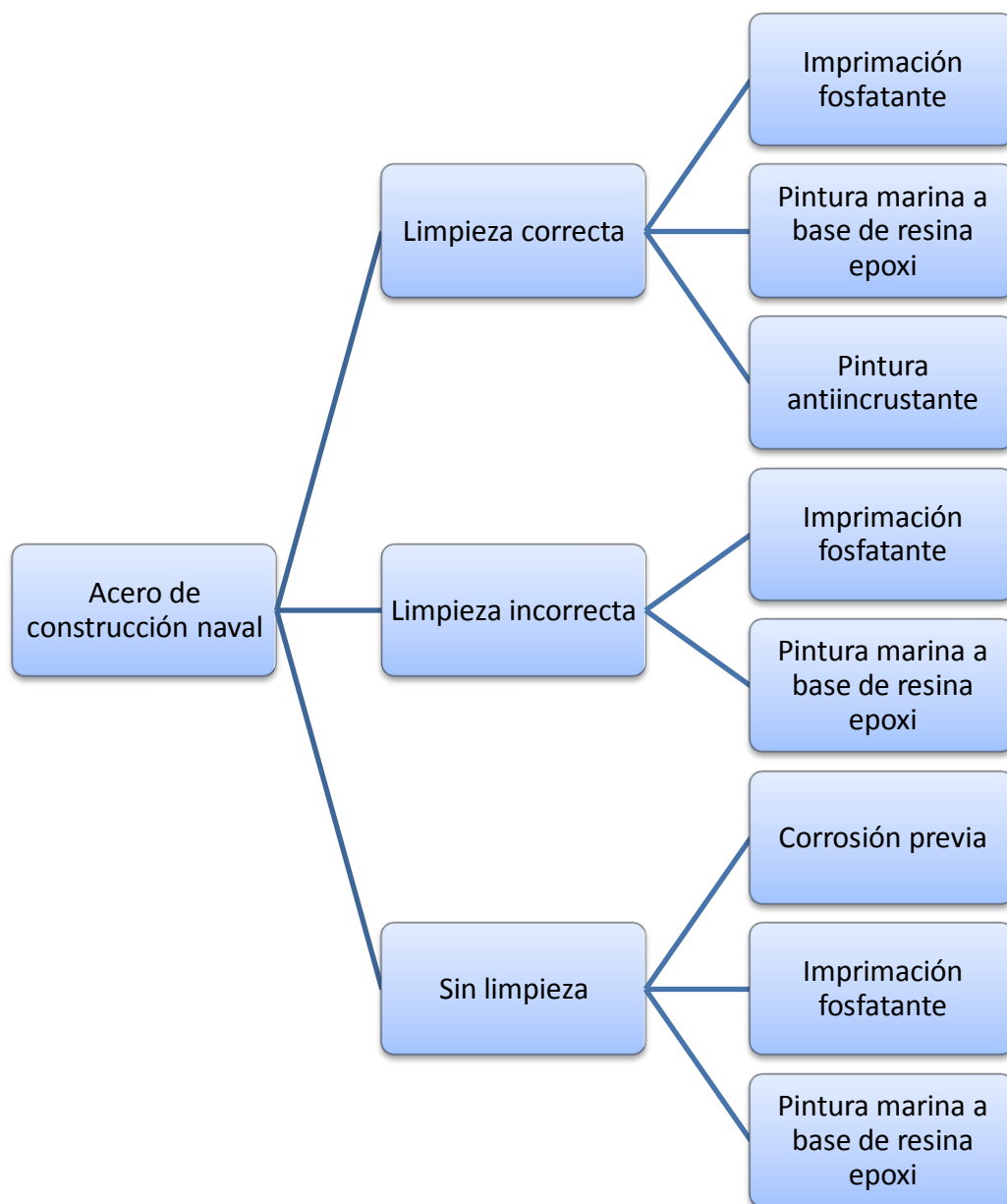


Figura 1. Protocolo establecido para evaluar con distintos protocolos de sistema de pintado el comportamiento ante la corrosión del acero de construcción naval



Figura.2 Probeta de acero de construcción naval empleada en este estudio

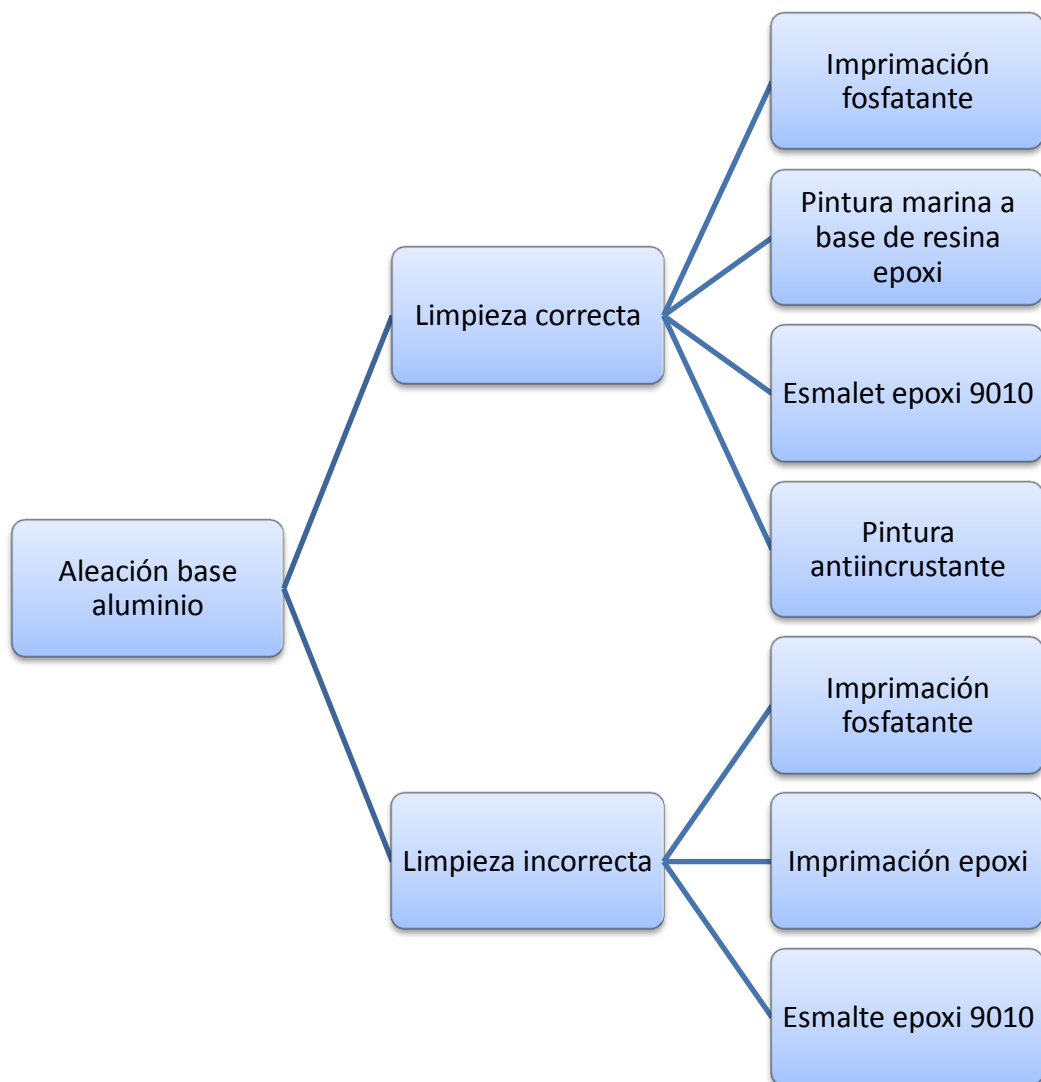


Figura.3 Protocolo establecido para evaluar con distintos protocolos de sistema de pintado el comportamiento ante la corrosión del aluminio

Por lo tanto, a lo largo del proyecto se intentará mostrar los beneficios de emplear los sistemas anticorrosivos a base de pinturas especializadas adecuados y su correcta utilización y cómo esto puede prevenir la corrosión y, por lo tanto, reducir las pérdidas económicas.

The objective of this Final Project is to observe the behavior of the shipbuilding two metallic systems with different paint systems.

Corrosion currently represents an economic loss in Gross Domestic Product (GDP) in developed nations like the US, UK and Japan; This is because metal systems in those exposed to corrosive environments have not been used the correct metal or the piece is not designed properly, mainly, is that once appeared corrosion, the elements do not receive adequate treatment anticorrosive. Generally, we try to solve this problem based corrosion methods such as paints, but these do not apply following the protocol established in European legislation, ultimately causing high economic losses.

In this Final Project it has paid attention the to solve on how you can solve this problem using one of the most important anti-corrosive treatments, such as paints specially designed to protect against corrosion differential metal systems in shipbuilding's and reduce economic losses. Shipbuilding steel and aluminum: a study of two metals most currently used in shipbuilding will be conducted. Immersed in seawater samples of these metal systems and observe them as corrosion phenomenon begins to appear. Subsequently, part of the specimens receives adequate treatment based on specific paintings employed as anticorrosive treatment to be applied according to the UNE relevant. The remaining specimens receive a treatment based paints specially designed to protect against different metal corrosion systems but this time the rules were not taken into account.

Therefore, throughout the project it aims to show the benefits of using anticorrosive systems based on appropriate specialized paints and their proper use and how this can prevent corrosion and, therefore, reduce economic losses.

Palabras Clave

- Corrosión
- Tratamientos anticorrosivos
- Pinturas antiincrustante
- Pinturas especializas
- Pinturas marinas
- Ambiente marino
- Sistemas metálicos
- Construcción naval
- Acero naval
- Aluminio

- Corrosion
- Anticorrosive Treatments
- Antifouling Paints
- Specialize Paintings
- Marine Paints
- Marine Environment
- Metal Systems
- Shipbuilding
- Naval Steel
- Aluminum

Capítulo 2-

Estado del arte

2.1 Introducción

En este capítulo se profundiza en aspectos que nos permitirán comprender mejor los resultados que obtengamos en el laboratorio. Los temas principales que abordaremos serán los materiales empleados en la construcción naval moderna, el fenómeno de corrosión y sus tipos, la caracterización de los metales en construcción naval, sistemas anticorrosivos y características de las pinturas marinas.

2.2 Materiales empleados en la construcción naval

Los primeros barcos estaban hechos exclusivamente de madera, material que fue empleados hasta mediados del Siglo XIX; muy resistente en relación con su peso específico, presentaba grandes dificultades de ensamblaje, por lo que las dimensiones de los mayores buques de la época tuvieron un límite entre 60 y 70 metros de eslora. Aunque la vida aproximada de estos buques era de 50 años, poseían muy poca resistencia a la tracción y compresión y sufrían un gran desgaste y deterioro.¹

A mediados del Siglo XIX, tras la sustitución definitiva de los barcos de vela por los barcos a vapor, se inició la construcción mixta de madera y hierro que permitió un considerable aumento del tamaño de los buques; esto fue debido al gran desarrollo de la industria siderúrgica surgida como consecuencia de importantes logros tecnológicos. Las primeras naves de hierro aparecieron a finales del siglo XVIII y la primeras de acero soldado alrededor de 1880. La superior fortaleza y homogeneidad del acero y la posibilidad de ensamblarlo eficazmente desplazaron a la madera del puesto primordial que ocupaba en la construcción naval. Aunque el acero tiene las ventajas de tener un bajo costo, ductilidad, resistencia mecánica y buenas condiciones para unirlo con remaches o soldadura; tiene la gran desventaja de sufrir la corrosión.

¹ <http://revistamarina.cl/revistas/1999/2/ortuzar.pdf>

En el siglo XX aparecieron las primeras construcciones con polímeros, compuestos de fibra de vidrio o fibra de carbono con resinas epoxis. También en el siglo XX se desarrollaron técnicas de epoxidización de maderas, que eran más duraderas y resistentes.

Aunque han sido desarrollados otros materiales de construcción naval y mejorada algunos ya existentes, el acero de construcción naval es el material más empleado por su gran variedad de aplicaciones y la posibilidad de construir buques de gran tamaño, lo que ha dejado la utilización de la madera para embarcaciones pequeñas y de recreo y el aluminio para embarcaciones de alta velocidad.

En las Figura 5 y Figura 6 se muestran varios tipos de buque que ha habido a lo largo de la historia:

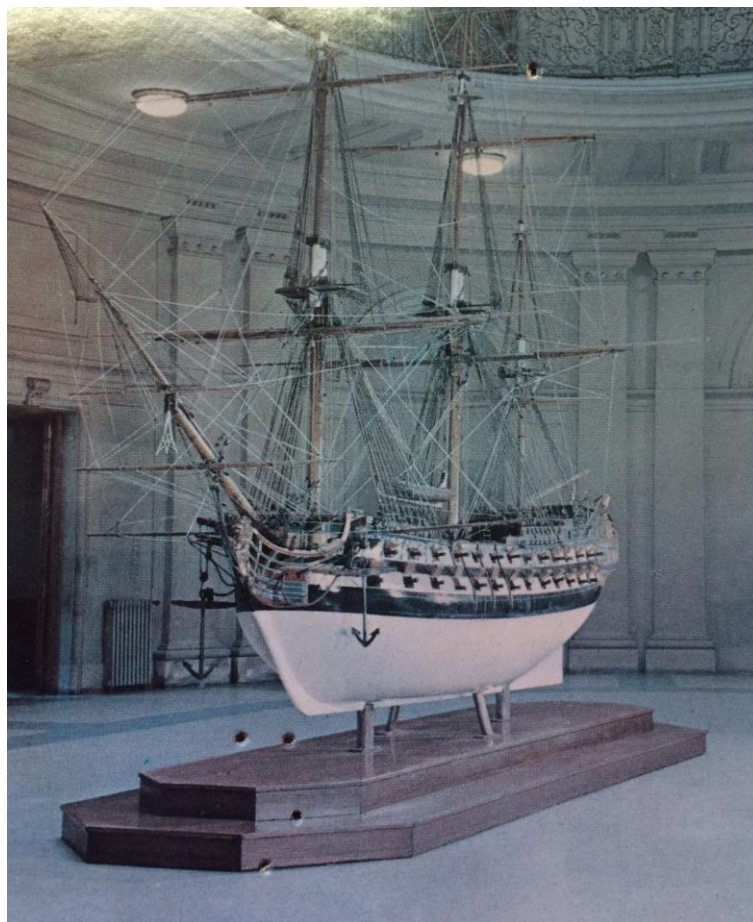


Figura 5. Réplica de un galeón en la Facultad de Náutica de Barcelona (España)

[<http://www.fnb.upc.edu>]



Figura 6. El Queen Mary en el astillero de John Brown. 1936.

[Lambert, A. (2010). Barcos, su historia a través del arte y la fotografía.

Londres: Editorial Planeta S.A.]

En los siguientes apartados se desarrollarán las características químicas y mecánicas y otras cualidades de los materiales más empleados actualmente en la construcción naval.

2.2.1 Acero de construcción naval

El acero de construcción naval, como se dijo en el apartado anterior, es el material más empleado en la construcción naval actual debido a su facilidad para ser soldado, por su resistencia mecánica y por su bajo coste. Tiene la desventaja de experimentar notables cinéticas de corrosión, pero han sido desarrollados varios sistemas anticorrosivos lo que ha permitido que el acero de construcción naval se siga empleando con mayor asiduidad que otros materiales.



Figura 7. Buque Cantabria de la Armada Española
[<http://www.vamosacantabria.com/tag/marina/>]



Figura 8. Fragata F 110 de la Armada Española
[<http://www.libertaddigital.com/espana/2012-10-11/las-fragatas-f100-espanolas-sin-capacidad-para-estar-en-el-escudo-antimisiles-1276471167/>]

A la hora de escoger este material para la construcción de un buque se tienen en cuenta varias cualidades en las cuales profundizaremos más adelante.

2.2.1.1 Proceso de obtención del acero de construcción naval

El proceso siderúrgico para la obtención del acero se compone de un gran número de pasos; en primer lugar, y con el fin de eliminar las impurezas el mineral de hierro se lava y se somete a procesos de trituración y cribado. Con ello, se logra separar la ganga de la mena.

A continuación, se mezcla el mineral de hierro (mena) con carbón y caliza y se introduce en un alto horno a más de 1500°C. Así se obtiene el arrabio, que es mineral de hierro fundido con carbono y otras impurezas. El arrabio obtenido es sometido a procesos posteriores con objeto de reducir el porcentaje de carbono, eliminar impurezas y ajustar la composición del acero.

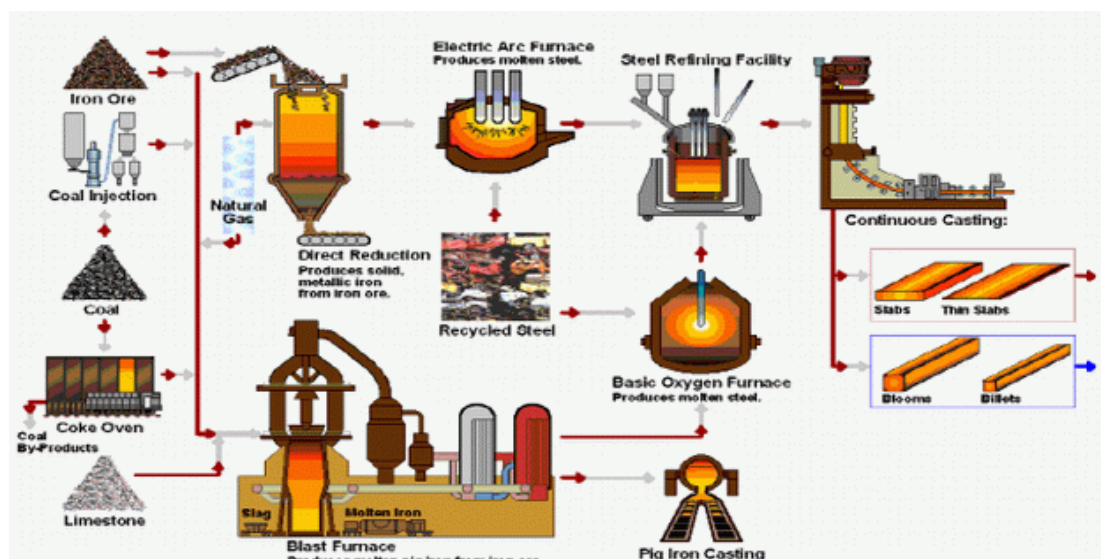


Figura 9. Diagrama de procesos para la fabricación de productos de acero
[<http://www.monografias.com/trabajos61/sidor-siderurgica-orinoco/sidor-siderurgica-orinoco2.shtml>]

En la actualidad, hay cuatro métodos producir acero:

-Proceso de hogar abierto: En el proceso de hogar abierto se mezcla hierro fundido y chatarra de acero, lo cual se funde en el horno provocando la oxidación de las impurezas. Posteriormente, se añade los elementos químicos deseados, como carbono y manganeso, para obtener el acero con las características químicas requeridas.

-Proceso de horno eléctrico: hay dos tipos, el horno de arco y el horno de inducción.

-Proceso de oxígeno: Este es un proceso de fabricación de acero moderno por el cual una carga fundida de hierro fundido y chatarra de acero con elementos de aleación y un chorro de alta pureza de oxígeno es entonces dirigida sobre la superficie del metal líquido para refinarlo.

-Proceso convertidor Bessemer: este método no se emplea para la obtención de acero de construcción naval.

2.2.1.2 Propiedades químicas y físicas del acero de construcción naval

Los aceros pueden considerarse en términos generales como aleaciones de hierro y carbono, el carbono porcentaje que varía de aproximadamente 0,1% en aceros suaves a aproximadamente 1,8% en algunos aceros endurecidos². Al acero también se le pueden añadir otra serie de elementos como manganeso, níquel o cromo para conferir al acero unas características determinadas.

El hierro sin alear tiene pocas aplicaciones en la industria moderna, por eso se le alea con el carbono lo que hace que sea una de la aleaciones, y materiales en general, más empleados actualmente.

² Eyres, D. (2006). *Ship Construction*. Plymouth: BH

En Figura 10 se presenta el diagrama hierro-carbono:

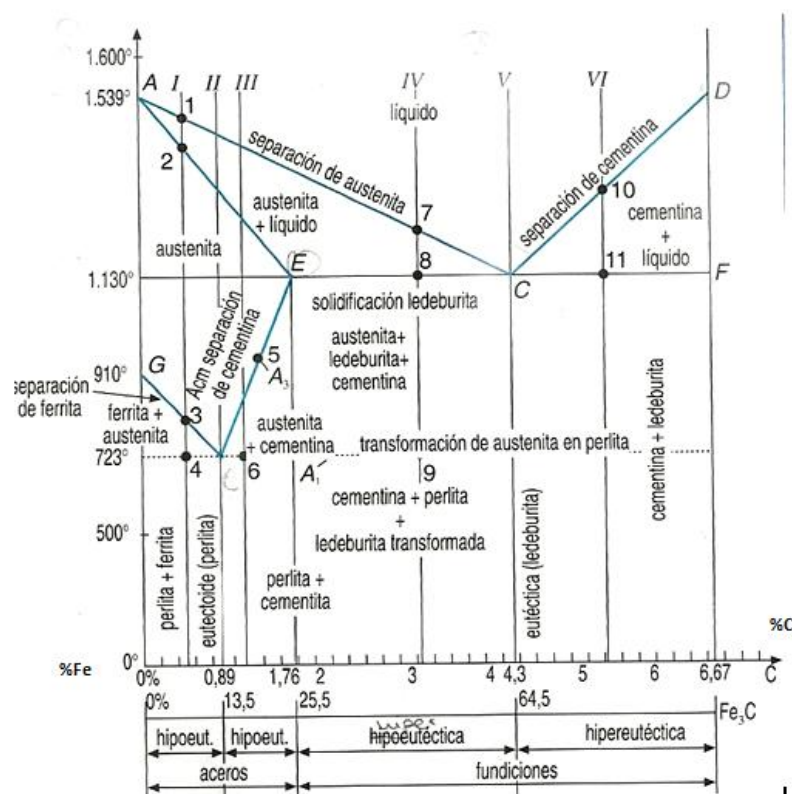


Figura 10. Diagrama parcial hierro-carbono

[Val, S. González, J. (2005) Tecnología Industrial II. Madrid: McGraw Hill]

La Sociedad Clasificadora American Bureau of Shipping divide los aceros dulces en cinco tipos: A, B, C, D y E. Por lo general, en la construcción naval se emplea el acero de tipo E que posee un contenido de carbono que oscila entre 0.15% y el 0.23% o también posee un alto contenido en manganeso, para facilitar el trabajo en caliente del material y mejorar su resistencia mecánica. En los aceros de tipo E la cantidad de azufre y fósforo se mantiene en un 0.05%; en caso de que hubiese concentraciones más altas de estos dos elementos provocaría la aparición de grietas en el laminado y puede dificultar la soldadura, ya que estos elementos químicos perjudican la tenacidad del acero. En alguna ocasión se emplea el tipo C (0,23% C).

A continuación se presenta la Tabla 1 con la composición química de los aceros que se emplean en la construcción naval:

Tabla 1. Composición química de aceros utilizados en el casco de un buque

[Eyres, D. (2006). Ship Construction. Plymouth: BH]

Especificación ASTM	HY-80 (%)	HY-100 (%)	HY-130 (%)
C	0,12-0,18	0,12-0,20	0,12
Mn	0,10-0,40	0,10-0,40	0,60-0,90
P	0,025	0,025	0,01
S	0,025	0,025	0,015
Si	0,15-0,35	0,15-0,35	0,15-0,35
Cr	1,00-1,80	1,00-1,800	0,40-0,40
Ni	2,00-3,25	2,25-3,50	4,75-5,25
Mo	0,20-0,60	0,20-0,60	-
Cu	0,25	0,30-0,65	-
Otros	V 0,03 Ti 0,02	V 0,03 Ti 0,02	V 0,05-0,10
Fe	Resto	Resto	Resto

En la Tabla 2 se presenta las características del acero de alta resistencia y la cantidad de cada componente para cascos de buques:

Tabla 2. Componentes del acero de alta resistencia para cascos de buques
según el reglamento de las sociedades de clasificación.

[Eyres, D. (2006). Ship Construction. Plymouth: BH]

Grado	Sociedad de Clasificación	Composición química % e>50 mm				
		C mas	Mn	Si	S más	P más
AH-27 S	Det Norske Veritas	0,2	0,70-1,60	>0,50	0,04	0,04
DH-27 S		0,18	0,70-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
EH-27 S		0,18	0,70-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
AH-32	American Bureau	0,15	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Bureau Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Germanischer Lloyd	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Lloyd's Register	0,18	0,90-1,60	0,5	0,04	0,04
	Det Norske Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
DH-32	American Bureau	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Bureau Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Germanischer Lloyd	0,18	0,90-1,60	0,15-0,50	0,04	0,04
	Lloyd's Register	0,18	0,90-1,50	0,10-0,50	0,04	0,04

	Det Norske Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
EH-32	American Bureau	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Bureau Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Germanischer Lloyd	0,18	0,90-1,60	0,15-0,50	0,04	0,04
	Lloyd's Register	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04
	Det Norske Veritas	0,18	0,90-1,60	0,10-0,50	0,04	0,04

2.2.1.3 Propiedades mecánicas del acero de construcción naval

En los aceros dulces y soldables, la tenacidad y ductilidad, son las dos propiedades más significativas para la construcción naval; son las sociedades de clasificación las que se encargan de comprobar que el acero posea estas dos cualidades dentro de los límites determinados³.

Para obtener el factor de tenacidad de un material se recurre a la prueba de tracción donde se comprobará la resistencia que opone el acero a sufrir una deformación longitudinal; además, con esta prueba obtendremos dos características más del acero de construcción naval: la carga de rotura y el límite elástico.

En el caso de la ductilidad, que se define como la capacidad del acero para alterar su forma inicial, obtendremos los datos del alargamiento que sufre la pieza hasta la rotura y la disminución de la sección transversal.

Por lo general, las propiedades mecánicas más importantes del acero de construcción naval son las presentes en la siguiente Tabla 3:

³ Bonilla de la Corte, A. (1984). *Construcción naval y servicio*. Autor-editor.

Tabla 3. Características mecánicas del acero para construcción naval

Carga de rotura (σ_R)	De 41 a 50 MPa
Límite elástico (σ_y)	Igual o más de 22,4 kg/mm ²
Alargamiento (%ϵ)	22%

En la Tabla 4 y en la Tabla 5 se presentan las propiedades mecánicas de los aceros dulces y las propiedades mecánicas de los aceros de alta resistencia:

Tabla 4. Propiedades mecánicas de los aceros HSLA

[Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book. Butterworth-Heinemann. Editor-Autor]

Steel Grade	Yield stress (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	El. A5 (%)	Test Temp (°C)	Average impact energy (J) KVL longitudinal - KVT transverse - t= thickness (mm)					
					t<50		50<t<70		70<t<100	
					KVL	KVT	KVL	KVT	KVL	KVT
A	235	400/520	22	20			34	24	41	27
B	235	400/520	22	0	27	20	34	24	41	27
D	235	400/520	22	-20	27	20	34	24	41	27
E	235	400/520	22	-40	27	20	34	24	41	27

Tabla 5. Propiedades mecánicas de los aceros de alta resistencia

[Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book. Butterworth-Heinemann.

Editor-Autor]

Steel Grade	Yield stress (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	El. A5 (%)	Average impact energy (J)						
				KVL longitudinal - KVT transverse - t= thickness (mm)						
				Test Temp (°C)	t<50		50<t<70		70<t<100	
AH32	315	440/590	22	0	KVL	KVT	KVL	KVT	KVL	KVT
DH32				-20	31	22	38	26	46	31
EH32				-40	31	22	38	26	46	31
FH32				-60	31	22	38	26	46	31
AH36	355	490/620	21	0	34	24	41	27	50	34
DH36				-20	34	24	41	27	50	34
EH36				-40	34	24	41	27	50	34
FH36				-60	34	24	41	27	50	34
AH40	390	510/650	20	0	39	26	46	31	55	37
DH40				-20	39	26	46	31	55	37
EH40				-40	39	26	46	31	55	37
FH40				-60	39	26	46	31	55	337

2.2.1.4 Tipos de acero de construcción naval

Atendiendo a su composición química los aceros se pueden clasificar en aceros bajos en carbono, aceros medios en carbono y aceros altos en carbono; estos tres tipos se explican a continuación.

2.2.1.4.1 Aceros de bajo contenido en carbono

Este tipo de acero tiene una cantidad de carbono inferior al 0.25%, su microestructura consiste en ferrita y perlita. Este tipo de aceros son blandos y poco resistentes, pero poseen una gran ductilidad y tenacidad.

Dentro de los aceros de bajo contenido en carbono se encuentran los aceros HSLA, caracterizados por su alta resistencia. Son aceros estructurales C-Mn aleados para provocar un aumento de la resistencia mecánica. El inconveniente de este tipo de acero es que es muy sensible a la corrosión bajo tensión en un ambiente marino.

Su empleo más común es en plataformas petrolíferas, construcción de barcos y submarinos.



Figura 11. Elementos estructurales bajos en carbono

[<http://www.apsaceros.com/productos>]

2.2.1.4.2 Aceros con medio contenido en carbono

Estos aceros tendrán una cantidad de carbono comprendida entre el 0.25% y el 0.60%. Estos aceros pueden ser sometidos a tratamientos térmicos tales como la austenitización, temple o revenido, aumentando de esta forma sus propiedades mecánicas. Se les suele añadir elementos como el cromo, níquel o molibdeno para mejorar la capacidad de estas aleaciones a la hora de ser tratados térmicamente.

Tras los tratamientos térmicos obtendremos aceros más resistentes que los que poseen un bajo contenido en carbono, pero perderán ductilidad y tenacidad.

Utilizados para la fabricación de ruedas y raíles de tren, engranajes, cigüeñales y otros componentes estructurales.

2.2.1.4.3 Aceros con alto contenido en carbono

Los aceros con alto contenido en carbono poseen una cantidad de carbono entre un 0.60% y un 1.4% y son más duros, resistentes y menos dúctiles que los otros aceros anteriormente descritos.

Se suelen utilizar tras haber sido sometidos a un tratamiento de temple o uno de revenido, lo que les hace especialmente resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. También se les suele añadir elementos como el wolframio, molibdeno, vanadio o cromo.

Estos aceros se utilizan como herramientas de corte, cuchillo, navas y hojas de sierra.



Figura 12. Elementos estructurales altos en carbono

[<http://www.apsaceros.com/productos>]

2.2.2 Aluminio y sus aleaciones

Actualmente el aluminio es uno de los elementos más comunes que se pueden encontrar en la corteza terrestre, ya que está presente en rocas y vegetación.

El aluminio y sus aleaciones se caracterizan por su relativa baja densidad, su elevada conductividad eléctrica y térmica y por su resistencia a la corrosión en

algunos medios. Se caracteriza por su ductilidad (incluso a temperatura ambiente) y su principal inconveniente es su baja temperatura de fusión (660°C). Otra de las principales características de este material, que ha ido adquiriendo importancia en los últimos años, es la buena disponibilidad que presenta el aluminio a ser reciclado, ya que puede reciclarse varias veces sin perder sus propiedades.

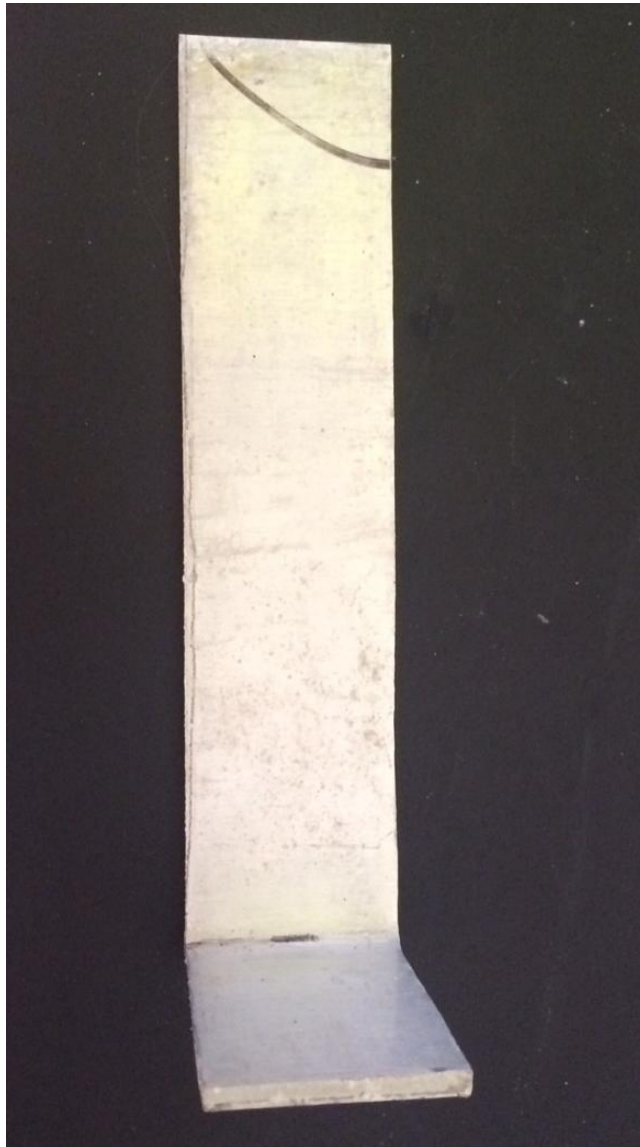


Figura 13. Pieza de aluminio empleada en la construcción del barco Panoramic por la empresa Metaltec (Cantabria, España)



Figura 14. Embarcación de aluminio

[http://www.fondear.org/infonautic/barco/Diseno_Construccion/Ventajas_Aluminio/Ventajas_aluminio.htm]

Los principales elementos con los que sale el aluminio son el cobre, el magnesio, el silicio, el manganeso y el zinc.

Los tipos de aluminio más usados son las láminas y perfiles extruidos, aluminio anodizado y aluminio fundido. Las láminas y los perfiles se utilizan como elementos estructurales, paneles de fachas y/o de techo en contenedores marinos; por otro lado, el aluminio anodizado son láminas tratadas químicamente para aumentar la capa de óxido.

Las aleaciones de aluminio son aconsejables en buques con grandes velocidades o buques con un peso muerto ligero.

Por otro lado, la gran desventaja del aluminio es su alto coste inicial y su coste de fabricación.

2.2.2.1 Proceso de obtención del aluminio y sus aleaciones

La producción de aluminio se obtiene del mineral bauxita, que contiene aproximadamente un 56% de aluminio. La primera fase de la obtención del aluminio consiste en aislar la alúmina (óxido de aluminio) de la bauxita. Para la obtención del aluminio hay dos fases principales:

En primer lugar es triturar la bauxita para obtener un polvo fino y se mezcla con sosa cáustica, lo que provoca que la alúmina se funda y, posteriormente, se procede a la calcinación de la alúmina. Es necesario que la alúmina vuelva a presentarse en estado sólido, lo que se obtiene por precipitación. La segunda fase se denomina electrólisis de la alúmina y se obtiene el aluminio puro. Mediante la electrólisis se descompone la alúmina en aluminio y oxígeno; de esta forma hemos obtenido un aluminio con una pureza entre el 93,3 y el 99,8% que puede ver modificadas sus propiedades a través de uno o de varios componentes de aleación que se pretende conseguir. Estas aleaciones se pueden presentar en lingotes para fundición, tocho para extrusión de perfiles, placas para laminación...



Figura 15. Proceso de obtención del aluminio

[<http://slideplayer.es/slide/2354259/>]

2.2.2.2 Propiedades químicas del aluminio y sus aleaciones

Las principales características del aluminio son su ligereza, con un peso aproximado de $2,7 \text{ tn/m}^3$, lo que le confiere cierta ventaja respecto al aluminio que posee un peso de $7,8 \text{ tn/m}^3$; las otras dos ventajas principales que presenta el aluminio son sus propiedades no magnéticas y su resistencia a la corrosión.

La alta resistencia a la corrosión que presenta el aluminio es debido a, que una vez que entra en contacto con el oxígeno, crea una capa de pasivación que protege a la pieza de la aparición de la corrosión; a pesar de esta característica es necesario aplicar en las piezas de aluminio un sistema anticorrosivo para alargar la vida útil del material.

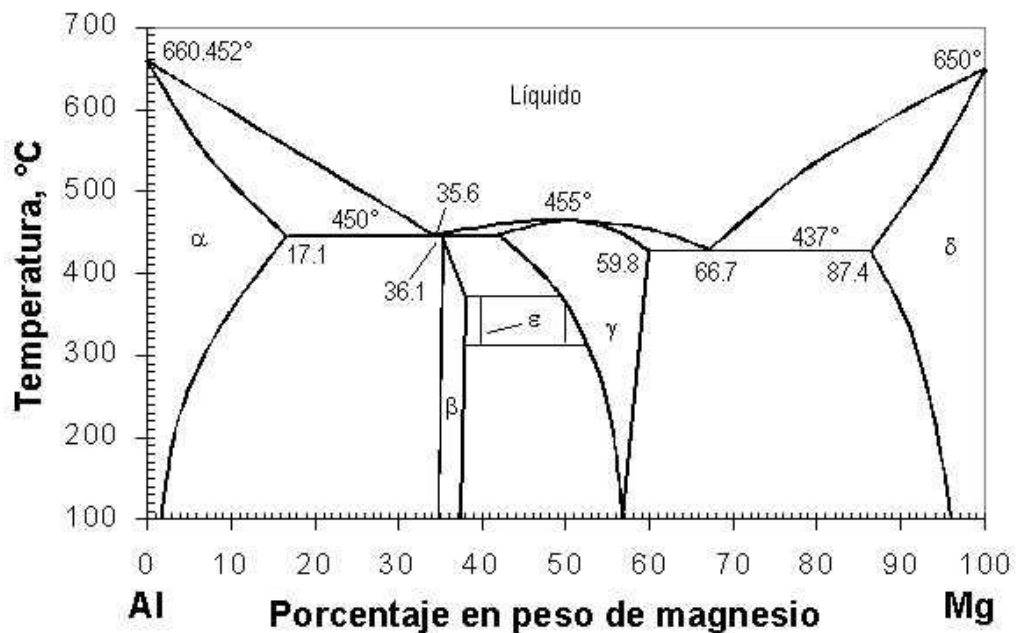


Figura 16. Diagrama fase del sistema Aluminio-Magnesio

[http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm05/ejercicios5_3.html]

A pesar de sus ventajas el aluminio puro tiene muy pocas aplicaciones en la industria, debido a que es un material blando y posee poca resistencia mecánica, por ese motivo el aluminio se alea con varios elementos lo que hace que adquiera otras cualidades dependiendo del material con el que se haya aleado. Las aleaciones más recomendables para emplear el aluminio en un medio marino son

aquellas que contienen magnesio y silicio, debido a su gran resistencia a la corrosión.

En la siguiente tabla, Tabla 6, se presentan los elementos aleantes más empleados y las cantidades de cada uno de ellos que se le añaden al aluminio para mejorarlo:

Tabla 6. Principales elementos de aleación presentes en las aleaciones de aluminio
[Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book. Butterworth-Heinemann. Editor-Autor]

Elemento (%peso)	5083	5086	6061	6082
Cobre	0,1	0,1	0,15-0,40	0,1
Magnesio	4,0-4,9	3,5-4,5	0,80-1,20	0,60-1,2
Silicio	0,4	0,4	0,40-0,80	0,7-1,3
Hierro	0,4	0,5	0,7	0,5
Manganeso	0,40-1	0,20-0,70	0,15	0,40-1
Zinc	0,25	0,25	0,25	0,2
Cromo	0,05-0,25	0,05-0,25	0,04-0,5	0,25
Titanio	0,15	0,15	0,15	0,1

El aluminio más empleado en la industria naval es la aleación de aluminio 5083, debido a su alto contenido en magnesio. En la Tabla 7 se presenta la composición química de esta aleación:

Tabla 7. Composición química del aluminio 5083 (%peso)

[http://www.capalex.co.uk/spanish/5083_alloy_sp.html]

Silicio	0,4
Hierro	0,4
Cobre	0,1
Manganeso	0.40-1.00
Magnesio	4-4,9
Cromo	0,05-0,25
Zinc	0,25
Titanio	0,15
Otros	0,05
Aluminio	Resto

Se pueden diferenciar dos grupos principales de aluminio:

- Aleaciones no tratadas térmicamente.
- Aleaciones tratadas térmicamente.

Las aleaciones que sí han sido tratadas térmicamente son sometidas a un calentamiento y un enfriamiento controlado con el fin de aumentar la resistencia a la tracción. Por otra parte, en las aleaciones que no son tratadas térmicamente, es decir son sometidas a frío, se aumenta la resistencia mecánica del material, pero esto puede provocar la reducción de la ductilidad y, como consecuencia, la aparición de grietas en el material. Por este motivo, las aleaciones que han sido sometidas a un tratamiento de frío son sometidas a un calentamiento y/o recocido de estabilización para evitar la reducción de la ductilidad.

2.2.2.3 Propiedades mecánicas del aluminio y sus aleaciones

Las características mecánicas del aluminio varían considerablemente en función de la aleación que estemos usando. Entre las principales propiedades del aluminio se puede destacar su dureza, resistencia a la cizalladura o tenacidad.

La dureza es la propiedad de los materiales que mide la resistencia que ponen estos a ser rayados o penetrados. Existen varios métodos para calibrar la dureza de un material, siendo el método Brinell y el método Rockwell los más comunes. En el caso del aluminio los valores de dureza obtenidos en el ensayo Brinell son de HB=15 en el caso del aluminio puro y el valor máximo dureza es de HB=110 que equivale a la aleación 7075

En general, el aluminio posee una gran ductilidad aunque este varía en función de la aleación que se nos presente y del tratamiento que hay recibido la misma. En el caso de que la aleación haya sido sometida a un tratamiento térmico su ductilidad será mayor que en las aleaciones que hayan sido sometidas a un tratamiento en frío. Gracias al ensayo de tracción obtendremos esta características del aluminio, además de obtener los valores de la carga de rotura (N/mm²), el límite elástico (N/mm²), el alargamiento en la rotura (en %) y la dureza Brinell como se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8. Carga de rotura, límite elástico, alargamiento y dureza de las aleaciones de aluminio

[Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book.
Butterworth-Heinemann. Editor-Autor]

Aleación	Carga Rotura (Rm*N/mm²)	Límite Elástico (Rp0,2*N/mm²)	Alargamiento (A 5,65%)	Dureza Brinell (HB)
7075-T7381	440	360	6	140
7075-T6/T651	470	400	5	130
2024-T5	425	315	5	125
7060-T6/T651	350	290	10	120
2024-T3	400	270	8	120
2007-T3	340	220	6	115
2014-T4	430	275	18	110
2007-T4	330	210	7	110
2017-T4	380	260	2	105

2011-T3	380	295	15	100
6061-T5/T651	150	110	16	95
6082-T6/T651	295	250	8	95
2030-T4	330	210	7	95
6060-T6	190	150	8	85
5052-H34	195	90	30	70
5083-0/H111	270	110	16	70
5086-0/H111	240	95	16	65
6063-T5	175	130	6	60
5154-07H111	215	85	16	55
5251-0/H111	190	80	16	55
5754-0/H111	160	60	16	45
1200-H18	125	150	15	45
3003-H14	130	110	6	45
5005-H24	145	110	6	45
1050-H18	165	150	15	43
1200-H14	125	115	20	37
1050-H14	125	115	20	35
1200-0	90	34	40	23
1500-0	90	34	40	21

El comportamiento de los metales a bajas temperaturas dependen de la estructura de su red cristalina; el aluminio tiene una red FCC, por lo que puede soportar bien las bajas temperaturas y apenas sufre un descenso en su resiliencia.

2.2.3 Cobre y aleaciones con base de cobre

El cobre (Cu) es un metal rojizo abundante en rocas, el suelo y el agua. Es uno de los primeros metales que comenzaron a usar los humanos y se sigue utilizando en la actualidad debido a sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su gran abundancia en la Tierra. Otro de los motivos por lo que tiene una gran utilidad este material es debido a que se puede moldear y forjar con gran facilidad. El consumo de cobre en el año fue, aproximadamente, de 20 millones de toneladas⁴, siendo el 25% procedente de chatarra, ya que el cobre se puede reutilizar porque no pierde sus propiedades, lo que le convierte también en un metal sostenible.



Figura 17. Producto obtenido del cobre

[<http://www.gestiondecompras.com/es/productos/cobre/cobre>]

⁴ http://www.aim.es/publicaciones/bol2/13_Metalurgia_Cobre.pdf

Las principales características del cobre para su utilización son:

- Conductividad eléctrica
- Resistencia a la corrosión
- Transmisión de calor
- Grande propiedades mecánicas

Por otra parte, también son muy empleadas las aleaciones de cobre, como son el latón (cobre-zinc) y el bronce (cobre-estaño).

2.2.3.1 Proceso de obtención del cobre

El cobre se puede obtener mediante un método pirometalúrgico (flotación) o un método hidrometalúrgico (lixiviación). El primer método se emplea cuando el metal está asociado a sulfuros, del cual se obtienen concentrados de mineral que son tratados en otro proceso para obtener el meta puro. Mientras que en el proceso de lixiviación predominan los óxidos, donde estos son sometidos a un proceso de extracción por solventes para posteriormente realizar una electrodeposición.

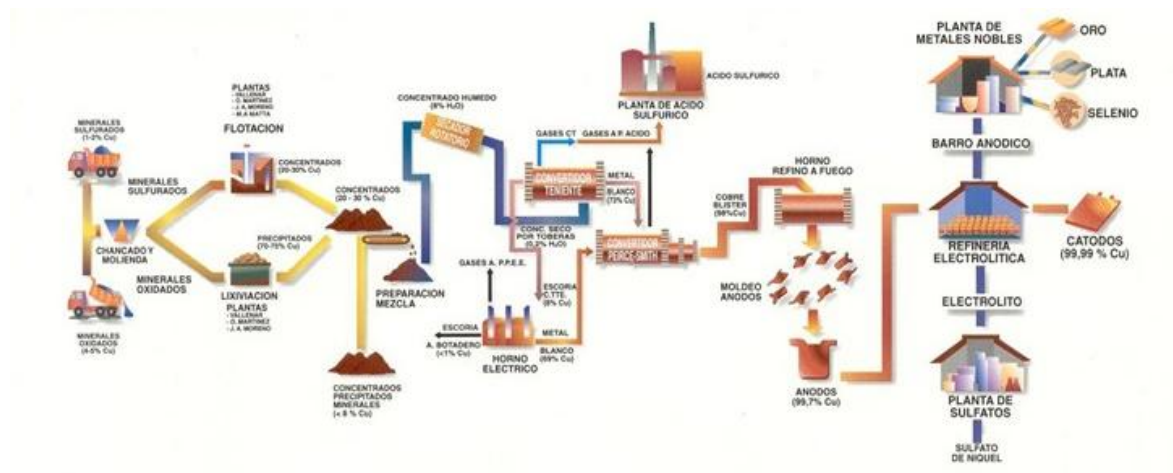


Figura 18. Proceso de obtención del cobre

[<http://slideplayer.es/slide/1109094/>]

En el proceso pirometalúrgico se acostumbran a procesar sulfuros minerales previamente concentrados, por flotación o biolixiviación. La flotación se puede definir como la concentración de minerales en húmedo y se trata de un proceso de separación de materiales de distinto origen que consta de cuatro etapas claramente diferenciadas:

- Fusión del concentrado a mata de cobre
- Conversión de la mata en cobre impuro
- Refinado reductor del cobre impuro y obtención de cobre anódico
- Refinado electrolítico del cobre anódico

En la primera etapa el concentrado del mineral de cobre se inyecta finamente dividido junto con oxígeno gas en un horno tipo flash. Finalmente se introduce en un horno de cuarzo triturado para formar una escoria fusible. En la segunda etapa la mata líquida es transferida a un convertidor y se inyecta oxígeno junto con la carga líquida.

El cobre de la etapa anterior queda oxidado y se eliminará el oxígeno; finalmente el refinado electrolítico del cobre se realiza para obtener los niveles de pureza del 99,99% exigido para muchas de sus aplicaciones.

Por otra parte, en el proceso de lixiviación se obtiene el cobre de los minerales oxidados aplicando una disolución de ácido sulfúrico y agua. Consta de tres etapas este proceso:

- Lixiviación
- Concentración
- Electrólisis

En primer lugar se tritura el material extraído de la mina y se lleva este material triturado a un lugar donde se formará la denominada cama de mineral, es decir se crearán zonas donde apilarán el material triturado; este material es sometido a un sistema de riego por goteo donde se vierte colusión ácida con agua. La solución de sulfato de cobre que obtenemos es recogida mediante un sistema de drenaje.

En la segunda etapa se extrae cobre del sulfato de cobre mediante disolvente orgánicos y, de esta forma, conseguimos retirar las impurezas que puedan quedar.

Por último, en la etapa de electrólisis, la solución obtenida se electroliza en grandes plantas de cátodos de acero inoxidable y ánodos inertes de plomo-antimonio. Finalmente obtenemos un cobre con una pureza del 99,99%.

2.2.3.2 Propiedades mecánicas del cobre

El cobre y sus aleaciones poseen una buena maquinabilidad, es decir, son fáciles de mecanizar. Además, este metal también posee una buena maleabilidad y es dúctil, por lo que se fabrica en láminas o hilo; se le puede aplicar un proceso de forja y acepta bien las soldaduras.

Otra de las características es que posee una buena resistencia a la tracción, es decir, cuando es sometido a dos esfuerzos en sentido longitudinal y direcciones opuestas, sufre un estiramiento con un valor de 210 MPa, siendo su límite elástico de 33,3 MPa.

Estas características mecánicas mejoran cuando el cobre es aleado con otros elementos, como estaño o zinc, y si éstos han sido sometidos a tratamientos térmicos como el temple o el recocido; por el contrario, cuando es aleado su conductividad eléctrica disminuye.

En la siguiente tabla, Tabla 9, se recogen las propiedades mecánicas del cobre en función de los tratamientos a los que haya sido sometido:

Tabla 9. Propiedades mecánicas del cobre

[<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html#seccion21>]

Estado	Resistencia a la tracción (kg/mm ²)	Límite elástico (kg/mm ²)	Alargamiento en la rotura (%)
Fundido	15 - 22	-	25 - 15
Recocido	21 - 24	9	46 - 47
Templado	37 - 41	36	5 - 6

2.2.3.3 Principales aleaciones del cobre

Como se dijo anteriormente, el cobre tiene muchas aplicaciones pero también sus dos aleaciones principales latón y bronce se emplean en gran cantidad en la industria moderna.

Las aleaciones con base de cobre son más pesadas que el hierro, aunque el límite elástico de algunas es alto, su resistencia mecánica es menor que la del aluminio o el magnesio. Igualmente, las aleaciones de cobre tienen una mejor resistencia a la fatiga y al desgaste que las de aluminio y magnesio.

Muchas de las aleaciones de cobre tienen una excelente ductilidad, resistencia a la corrosión y buena conductividad térmica y eléctrica. La mayor parte pueden soldarse fácilmente o fabricarse en formas útiles.

A continuación, se detallarán un poco más las características de estas dos aleaciones.

2.2.3.3.1 Bronce

El bronce es una aleación de cobre (88%) y estaño (12%); pero en los tiempos actuales, las nuevas aleaciones de bronce mezclan además pequeñas cantidades de níquel, fósforo, manganeso, aluminio, silicio o plomo para conseguir mejorar sus propiedades mecánicas de forma significativa.



Figura 19. Hélice de bronce

[<http://www.nauticexpo.es/fabricante-barco/helice-bronce-16690.html>]

Las propiedades físicas del bronce se muestran en la siguiente tabla, Tabla 10:

Tabla 10. Características físicas del bronce

Densidad	8,90 g/cm ³
Punto de fusión	de 830 a 1000°C
Punto de ebullición	de 2230 a 2420 °C
Coeficiente de temperatura	0,0006K ⁻¹
Resistividad eléctrica	15 μΩ/cm
Conductividad térmica (a 23°C)	de 42 a 50 W ^{m-1}

Actualmente, las normas UNE distinguen entre aleaciones cobre-estaño para moldeo y aleaciones cobre-estaño para forja, cada una de ellas con un número de

serie: 0-300 para las primeras y 0-700 para las segundas. Estas series se dividen a su vez en grupos, como refleja la Tabla 11.

Tabla 11. Ejemplo de la clasificación del bronce según la norma UNE
[<http://eprints.ucm.es/1722/1/AH1003301.pdf>]

C-310	Aleaciones Cu-Sn para moldeo
C-320	Aleaciones Cu-Sn-Zn para moldeo
C-330	Aleaciones Cu-Sn-Pb para moldeo
C-710	Aleaciones Cu-Sn para forja
C-720	Aleaciones Cu-Sn-Zn para forja

Los componentes del bronce varían; así, cuando contiene al menos un 10% de estaño, la aleación es dura y tiene un punto de fusión bajo. Los nombres de las variedades de bronce provienen de los componentes adicionales, como el bronce al aluminio, el bronce al manganeso y el bronce al fósforo. El bronce es más resistente y duro que cualquiera otra aleación común, exceptuando al acero, que le supera en resistencia a la corrosión y la facilidad de lubricación.

Al añadir fósforo la aleación conseguida mejora mucho en dureza pero dificulta los trabajos de fundición; por otra parte, el plomo lo hace más moldeable pero menos duro.

La mayoría de las aleaciones de bronce son muy resistentes a la oxidación en ambiente marino, ya que se forma una capa que lo protege de la futura aparición de la corrosión; pero esta capa protectora natural no lo protegerá frente a los procesos electrolíticos y galvánicos, por lo que sigue siendo muy necesario la utilización de ánodos de sacrificio de zinc que se consumirán antes que el bronce, debido a que tienen una electronegatividad más baja.

Los bronce marinos de mejores prestaciones son conocidos como bronce Ab2, lleva níquel y aluminio, y el bronce al manganeso, siendo estos dos tipos de bronce más resistentes a la flexión y a la rotura.

El bronce Ab2 pesa alrededor de un 15% menos que el bronce puro de cobre y estaño; además es más duro y de mejores prestaciones mecánicas. Es el mejor tipo de bronce para conseguir un buen mecanizado de las palas de las hélices.

El bronce presenta una serie de buenas características mecánicas por lo que es una de las aleaciones más empleados. Si el bronce es colado por centrifugación estas características aumentan; en la Tabla 12 se recogen las características mecánicas del bronce:

Tabla 12. Propiedades mecánicas del bronce

Elongación	<65%
Dureza Brinell	De 70 a 200
Módulo de elasticidad	De 80 a 115 GPa
Resistencia a la cizalla	De 230 a 490 MPa
Resistencia a la tracción	De 300 a 900 MPa

Los tipos de bronce que podemos encontrar actualmente son:

- Bronces laminados
- Bronces de aluminio
- Bronces fundidos
- Bronces fosforosos
- Bronces rojos

2.2.3.3.1.1 Propiedades físicas y químicas del bronce

El cobre tiene varias características, tanto físicas como químicas, que hacen que sea uno de los elementos más empleados. Entre estas características, por ejemplo, se encuentra la conductividad eléctrica; la conductividad eléctrica del cobre se tomo como referencia estándar para las magnitudes, desde el año 1913, por la Comisión Electrotécnica Internacional, la cual dice que la conductividad del cobre, medido a una temperatura de unos 20°C, es de $58,108^6$ S/m, siendo un valor superior al de la mayoría de los metales⁵; debido a esto, aproximadamente, el 75% del cobre que se extrae se emplea en la industria eléctrica.

Este material tiene una dureza de Mohs, sistema de media empleado para evaluar la dureza de los materiales, entre 2,5 y 3 sobre 10.

La densidad específica del cobre es de 8.93, y aunque la densidad específica del oro y la plata son más elevadas, el cobre tiene menor reactividad química por, y por su precio en el mercado, se emplea este material principalmente.

Tabla 13. Composición química de los diferentes grados de cobre
[Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book. Butterworth-Heinemann. Editor-Autor]

Tipo de aleación	Composición química (%)							
	Cu	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb
Cu1	52-62	0,5-3,0	35-40	0,5-2,5	max 1,0	max 1,0	max 1,5	max 0,5
Cu2	50-57	0,5-2,0	33-38	0,5-2,5	3,0-8,0	max 1,5	max 1,5	max 0,5
Cu3	77-82	7,0-11,0	max 1,0	2,0-6,0	3,0-6,0	max 0,1	max 0,1	max 0,03
Cu4	70-80	6,5-9,0	max 6,0	2,0-5,0	1,5-3,0	max 1,0	max 1,0	max 0,05

⁵ http://www.aim.es/publicaciones/bol2/13_Metalurgia_Cobre.pdf

En caso de que alguna aleación del cobre tenga una variación química, ésta debería ser autorizada por las sociedades de clasificación permitente.

Las propiedades importantes, tales como ductilidad y resistencia a la fatiga por corrosión so fuertemente influenciadas por la proporción relativa de la fase beta (un porcentaje demasiado alto de la fase beta puede tener un efecto negativo en estas propiedades). Para asegurar la ductilidad adecuada en frío y la resistencia a la corrosión por fatiga, la proporción de la fase beta se mantiene baja. El concepto del zinc equivalente debe ser utilizado como control, ya que resume el efecto de la tendencia de los diversos elementos químicos para producir la fase beta en la estructura.

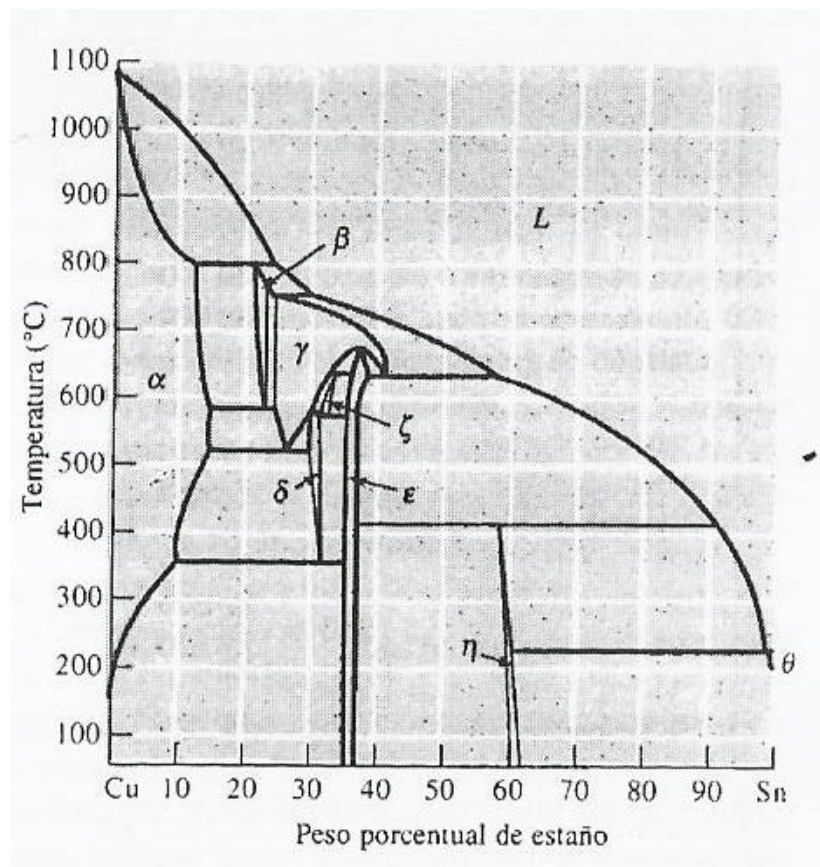


Figura 20. Diagrama de fase del bronce

[Askeland, D. (1998) Ciencia e ingeniería de los materiales. México:
International Thomson]

2.2.3.3.2 Latón

El latón es una aleación de cobre y zinc que se realiza en un horno de reverbero a una temperatura de 980°C.

Las proporciones de cobre y zinc varían para crear un rango de latones con diferentes propiedades; en los latones industriales la cantidad de zinc se mantiene alrededor del 30% o 40%. También se suele agregar plomo (entre un 2% y un 4%) para que el material sea más mecanizable. Las aleaciones de cobre-zinc, es decir el latón, con menos del 40% de zinc, forman soluciones sólidas de una sola fase de zinc en el cobre. Estas aleaciones se pueden trabajar en frío para conseguir piezas bastante complicadas y resistentes a la corrosión. El latón se desintegra rápidamente en entornos salino lo cual puede tener las peores consecuencias si lo utilizamos por error.

La densidad del latón también varía en función de la composición; oscila entre 8,4 y 8,7 gr/cm³.

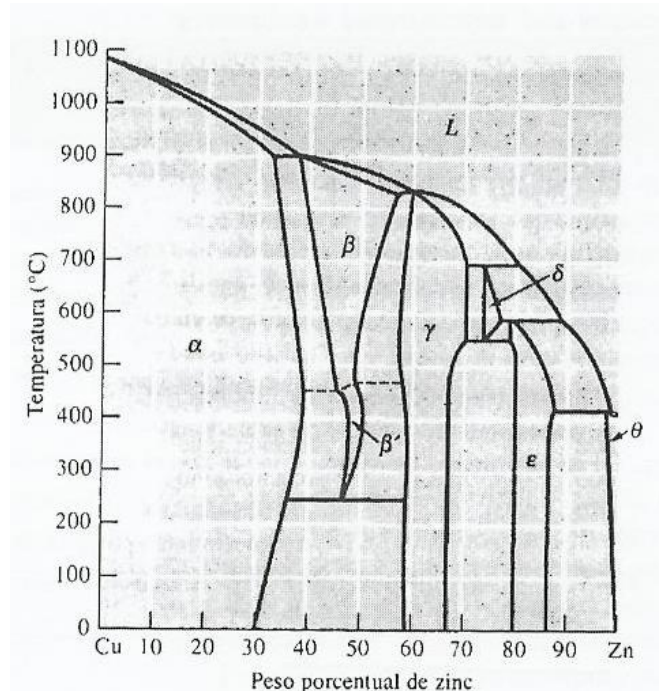


Figura 21. Diagrama fase del latón

[Askeland, D. (1998) Ciencia e ingeniería de los materiales. México: International Thomson]

En la Tabla 14 y en la Tabla 15 se recopilan las propiedades física y mecánicas del latón, respectivamente.

Tabla 14. Propiedades físicas del latón

[http://www.emac.es/descargas/informes_tecnicos/FT_LATON.pdf]

Densidad	8,4 g/cm-3
Temperatura de trabajo	De -100°C a 200°C
Capacidad de reciclado	Buena

Tabla 15. Características mecánicas de latón

[http://www.emac.es/descargas/informes_tecnicos/FT_LATON.pdf]

Ductilidad	Elevada
Resistencia mecánica	Buena
Resistencia a tracción	350 MPa
Elongación	20%

Algunas de las características del latón son:

- Buen conductor de la electricidad
- Buen conductor térmico
- Puede ser soldado con facilidad
- Material fácilmente reciclable

-Admite bien la deformación en frío

-Buena resistencia a la corrosión

En el mercado hay diferentes tipos de latón: latón común, latón alfa, latón alfa-beta y latón beta. A continuación se detallan un poco las características de cada uno de ellos:

-Latón común: compuesto por un 37% de zinc es el latón que se emplea principalmente para remachar. Se trabaja en frío.

-Latón alfa: este latón tiene un 35% de zinc. A menudo se trabaja en frío porque es dúctil a temperatura ambiente, y se puede forjar, laminar y presionar.

-Latón alfa-beta: El latón alfa-beta tiene dos etapas, una fase alfa donde es como el latón alfa y una más dura y fuerte, la fase beta. El contenido de zinc está entre 35 y 45 por ciento, siendo el resto del metal cobre. Este latón recibe el nombre de latón doble o latón para trabajar en caliente porque se puede trabajar a temperaturas más altas que el latón alfa.

-Latón beta: El latón beta tiene de un 45% a un 50% de zinc. Se trabaja en caliente y es bueno para fundición.

El latón es un material de múltiples usos en la industria gracias a sus buenas propiedades físicas y mecánicas, como por ejemplo: bisutería, artículos de decoración, productos industriales y piezas de uso naval.

2.2.4 Titanio y sus aleaciones

El titanio (Ti) es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre. Es un material caro, debido a su costosa extracción. Fue descubierto en 1791.

El titanio en la naturaleza se puede encontrar en forma de óxido (TiO_2), que se caracteriza por un color negruzco y se denomina rutilo, o en forma de anatasita y

broquita. El óxido básico negro se encuentra en forma natural como el mineral llamado ilmenita; éste es la principal fuente comercial del titanio.



Figura 22. Mineral del que se obtiene el titanio

[<http://pelandintecno.blogspot.com.es/2013/03/titanio-fuerte-pero-ligero.html>]

El dióxido de titanio se utiliza mucho como un pigmento blanco en pinturas exteriores por ser químicamente inerte, por su gran poder de recubrimiento, su opacidad al daño por la luz UV y su capacidad de auto limpieza.⁶

El titanio es un material muy adecuado para ser utilizado en barcos y en elementos mecánicos, como en tornillería, especialmente en los palos de los veleros; también se puede emplear en hélices, tubería y depósitos n equipos desaladoras, tensores diferentes elementos de la jarcia. El titanio ofrece propiedades excepcionales para la construcción naval, debido a que es totalmente inerte y no sufre corrosión.

Otras aplicaciones del titanio son el empleo en aviones y helicópteros, intercambiadores de calor en plantas de desalinización o instrumentos quirúrgicos; el óxido de titanio se emplea en dentífricos, pinturas y papel.

⁶ <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelTitanio&LN=ES>

2.2.4.1 Proceso de obtención del titanio

En la actualidad, el titanio se obtiene mediante el método Krupp o por refinación electrolítica.

El proceso Krupp es el método más empleado. La materia prima es el mineral de rutilo. El proceso convencional consistente en convertir las arenas metalíferas en tetracloruro de titanio, que luego reacciona con magnesio líquido; de esta forma se produce el titanio metal y cloruro de magnesio. La producción masiva con este método es difícil, ya que presenta una serie de limitaciones.

El segundo método se basa en la obtención de titanio de alta pureza mediante la circulación de corrientes eléctricas a través de soluciones que contienen titanio.

2.2.4.2 Propiedades químicas del titanio

El titanio se utiliza ampliamente en la industria química y petroquímica, debido a su gran resistencia a los más diversos agentes químicos; es capaz de resistir la acción de ácidos sumamente agresivos (salvo los ácidos clorhídrico y fluorhídrico) que destruyen rápidamente a otros metales.

En otro campo y debido a que el titanio es un metal inerte, su cubierta de óxido en contacto con tejidos humanos no libera iones que reaccionen con otras moléculas orgánicas y por ese motivo tiene varias aplicaciones médicas.

Gracias a la fuerte afinidad que tiene con el oxígeno, el titanio forma una delgada capa transparente de óxido de titanio que es muy dura y estable frente a reacciones químicas; esta capa, además de ser muy resistente, tiene la grata propiedad de ser adherente y con un cavado y características parecidas a las de los objetos cerámicos.

Por último, el titanio es 100% reciclable.

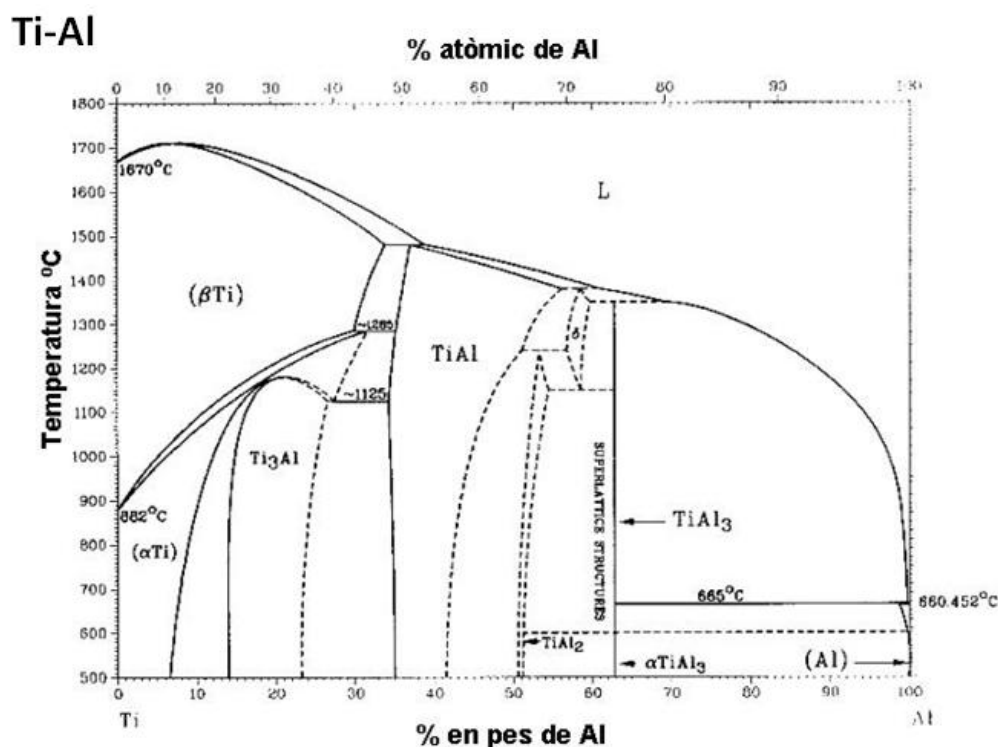


Figura 23. Diagrama de fases Titanio-Aluminio

[<http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/titanio-aluminio-vanadio-forjado-1050-%C2%BAC-mantenido-esta-temperatura-2-horas-y-treplado-al>]

2.2.4.3 Propiedades mecánicas del titanio

El titanio es el material que posee las mejores características mecánicas, además una de sus propiedades más útiles es su alto grado de fusión de 1725°C. Estas propiedades son: alta resistencia, rigidez, tenacidad, baja densidad, buena resistencia a la corrosión y dureza (Su dureza es comparada con la del diamante (6 en la escala de Mohs).

El metal es valorado por su buena tenacidad, es decir, su resistencia a quebrarse o desgarrarse y su maleabilidad, cualidad esencial para conformar hojas delgadas del material. En cuanto a su elasticidad, el titanio ofrece un módulo menor que el del acero, lo cual significa una deformación mayor que la sufrida por otros metales; esta elasticidad depende del tipo de estructura que lo conforma.

La baja densidad de este elemento (4507 kg/m³) puede ser aumentada al alearlo con otros elementos o si es tratado por deformación. El titanio es no

magnético y tiene buenas propiedades de transferencia de calor. Su coeficiente de expansión térmica es algo menor que el de los aceros.

El titanio puro se utiliza para aplicaciones que requieren una alta resistencia a la corrosión y las aleaciones se emplean en la fabricación de productos que necesitan una alta resistencia mecánica y resistencia a la corrosión. A continuación se citan diferentes grados de titanio, los más empleados, y las características que poseen cada uno de ellos:

-Grado 1 (titanio puro): resistencia mecánica relativamente baja y alta ductilidad.

-Grado 2(titanio puro): más empleado que el de Grado 1. Buena resistencia, ductilidad y soldabilidad.

-Grado 3 (titanio de alta resistencia): empleado para la construcción de intercambiadores de calor.

-Grado 5 (aleación de titanio): es la aleación más fabricada. Tiene una alta resistencia mecánica y una alta resistencia al calor.

2.2.5 Madera

Hasta mediados del siglo XIX la madera fue el único material empleado en la construcción de cascos y estructura de los buques. Más ligera que el agua y muy resistente en relación con su peso específico, presenta grandes dificultades de ensamblaje, por lo que las dimensiones de los mayores buques de la época tuvieron un límite entre los 60 y los 70 metros de eslora⁷. Hoy en día también se construyen cascos de madera, pero su empleo está restringido a las embarcaciones de recreo como yates y pesqueros. Estas circunstancias unidas a la disminución de las reservas forestales, han hecho perder importancia a la construcción de buques de madera.

⁷ <http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>



Figura 24. Embarcación moderna construida con madera
[http://www.barcosdeocasion.net/Comprar-Barco/barco_1910.php]

Los materiales empleados en la fabricación del casco de las embarcaciones de madera han sufrido una lenta evolución con el transcurso del tiempo, manteniendo la utilización de aquellos probados por la experiencia como idóneos para el uso al que se destinaban. Entre las variedades de maderas adecuadas para forros y cubiertas de buques destacan el pino, el olmo, el roble, el cedro y la caoba, aunque estos dos últimos se reservan prácticamente para yates de lujo.

Para la construcción de los elementos estructurales de mayor responsabilidad, quilla, sobrequilla, roda, codaste, cuadernas, baos, durmientes, palmejares y otras similares se ha empleado tradicionalmente, y se mantiene su utilización en la actualidad, el roble, por ser una madera dura y con buena resistencia mecánica, de buen comportamiento frente a la humedad y la acción del agua de mar, completando estas propiedades con una buena resistencia al ataque de hongos, insectos y moluscos. La escasez de maderas de roble de la adecuada longitud obligó a la utilización de otras especies en algunas piezas concretas, como es el caso de la

quilla y sobrequilla, donde comenzó a emplearse el eucalipto que es una madera pesada y fuerte de color pardo pálido con fibras entrecruzadas.

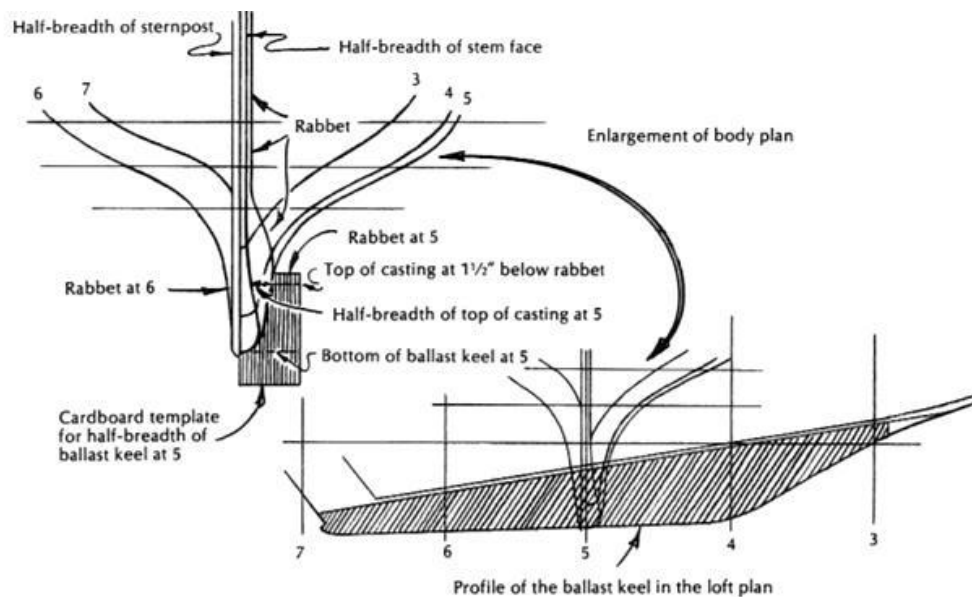


Figura 25. Esquema de una quilla construida con madera

[McIntosh, D. How to build a wooden boat?]

Para la elaboración de piezas menores se han utilizado especies como el castaño, haya, fresno, nogal, alerce y otras de aplicación marginal.

El tanino que encierran sus fibras acelera la oxidación de los pernos y clavos fabricados con aleaciones de hierro, problema que se ha resuelto históricamente con la renovación periódica de estos elementos y en época más reciente mediante el empleo del galvanizado en el proceso final de fabricación de la pernería y clavazón. También se han utilizado materiales metálicos no férricos como el cobre o sus aleaciones y en épocas más recientes el acero inoxidable. Para el forrado del casco y de la cubierta se ha mantenido la utilización del pino por tratarse de una madera de regular dureza, muy resinosa, color blanco amarillo con vetas rojizas que despiden olor a trementina.

En los últimos años se han incorporado al catálogo maderas americanas, africanas y asiáticas de buenas características y precio más reducido que las

maderas nacionales, como el elondo, iroko, pino rojo, sapelli, teca, jatoba, ukola, abebay, samanguila, tatajuba y otras.

Debido a que la madera tiene su máxima resistencia y elasticidad en la dirección de las fibras, vasos leñosos o vetas, la selección de la madera que va a utilizarse en elementos estructurales de directriz curva, se realiza buscando aquellos troncos o ramas que posean una curvatura similar a la que tendrá la pieza. De esta forma se consigue que la dirección principal de la pieza coincida con la de las fibras de la madera. Estos troncos o ramas dotados de curvatura natural, útiles para piezas con forma como son las cuadernas, rodas, etc., recibe la denominación de madera de vuelta o de figura. Los troncos o ramas rectas, sin curvatura, llamada madera derecha se utiliza en piezas como quilla, codaste, sobrequilla, etc.

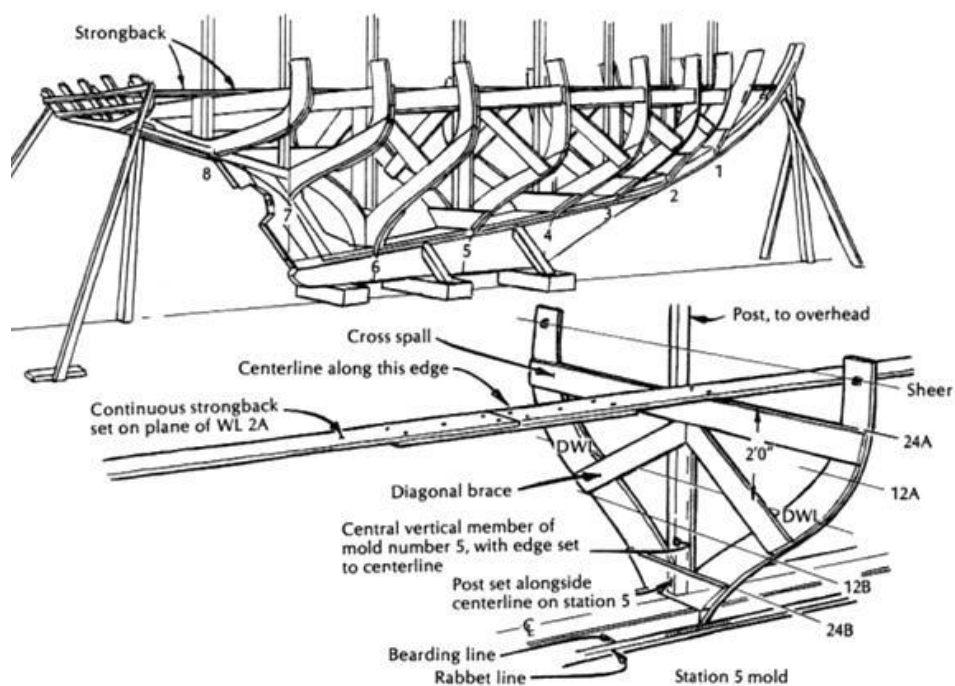


Figura 26. Elementos estructurales de un buque a base de madera
[McIntosh, D. How to build a wooden boat?]

La presencia de la savia en la madera recién cortada significa la existencia de nutrientes que la hacen atractiva para el ataque de los hongos y xilófagos que encuentran así un medio ideal para alimentarse y reproducirse. Por otra parte la

savia da lugar a un proceso de fermentación que facilita el fenómeno de pudrición de la madera. Por este motivo en las maderas utilizadas en construcción naval es necesario reducir la cantidad de savia.

En la sección transversal de un árbol maduro, se distinguen una zona exterior denominada corteza o córtex y una parte interior llamada leño. La parte central del leño constituye el cerne o duramen y es la zona preferida para la madera utilizada en construcción naval. La zona exterior del leño se llama sámago y está formada por los tejidos más jóvenes; es menos resistente que el cerne y muy sensible al ataque de los insectos y a la pudrición.

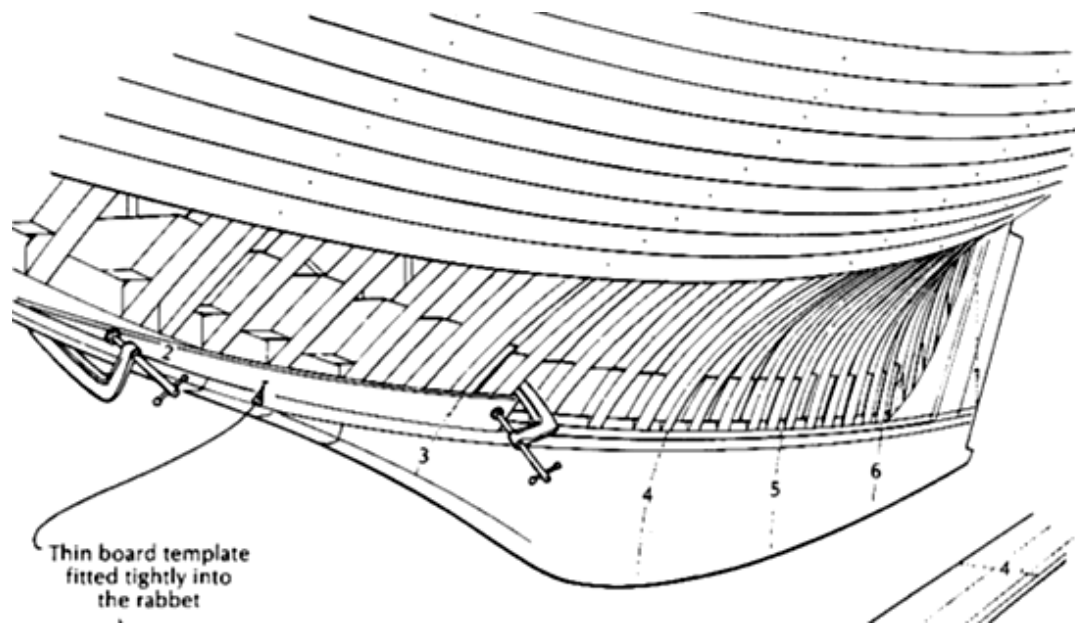


Figura 27. Casco de un buque recubierto con madera

[McIntosh, D. How to build a wooden boat?]

2.2.5.1 Dimensiones y formas

Las características y dimensiones principales que definen el casco del barco de madera son:

- Tipo de embarcación
- Eslora total, manga fuera de forros y puntal de construcción
- Tipo de popa y proa, y valor de la astilla muerta

2.2.5.2 Proceso constructivo

El proceso de construcción que se ha seguido es el siguiente: el barco se contrata sobre la base de unas dimensiones principales, eslora total, manga fuera de forros y puntal de construcción y una sencilla especificación de materiales cuya complejidad aumenta con el tamaño.

El carpintero define la forma del casco bien a través de la elaboración de un modelo del medio casco en madera o, en el caso de embarcaciones menores, mediante la construcción y montaje de los elementos principales, roda, codaste y una o varias cuadernas que le sirven como elementos directores para la obtención de esta superficie mediante el uso de junquillos.

Por último, el proceso constructivo de la estructura finaliza con el montaje a bordo y ensamblaje de unas piezas con otras.

2.2.6 Materiales compuestos

Se define como material compuesto a todo material combinado a partir de una unión (no química) de dos o más componentes, que da lugar a propiedades características específicas⁸.

⁸ Besednjak, A. (2013) . *Los Materiales Compuestos*.

La utilización de materiales compuestos en la industria naval ha experimentado desde los años cuarenta un constante crecimiento. Su empleo ha permitido construir embarcaciones más duraderas, más ligeras y a un coste menor que las tradicionales de madera.

Superados los problemas iniciales, los nuevos procesos o técnicas han conseguido hacer de los materiales compuestos unos materiales fiables y con un comportamiento predecible.

Los materiales compuestos ofrecen excelentes propiedades mecánicas, una reducción sustancial de peso y libertad de diseño.

Hay tres tipos principales de materiales compuestos:

- Materiales compuestos de matriz metálica
- Materiales compuestos de matriz cerámica
- Materiales compuestos de matriz polimérica

Los materiales compuestos de matriz metálica han sido desarrollados principalmente para componentes aeroespaciales y de motores de automoción. Los materiales compuestos de matriz cerámica mejoran la resistencia y la tenacidad de los materiales cerámicos tradicionales. En la construcción naval el material compuesto que tiene mayor importancia es el reforzado con matriz polimérica, por lo que en este proyecto solo desarrollaremos este tipo de material compuesto. Principalmente están reforzados con fibra de vidrio, fibra de carbono y fibras aramídicas.

Los materiales compuestos de matriz polimérica tienen buenas propiedades mecánicas, son resistentes a la corrosión y a los agentes químicos; pueden ser moldeados con absoluta libertad de formas. En estos materiales la matriz está constituida por un polímero y el refuerzo es una fibra sintética o inorgánica.

Los materiales de refuerzo constituyen estructuras cristalinas o semicristalinas, que son tenaces, rígidos y resistentes a altas temperaturas, pero tiene la desventaja de que son frágiles. Para un mejor aprovechamiento de las fibras desde un punto de vista constructivo es necesario incorporarle a esta matriz un refuerzo; por lo tanto, la combinación de la matriz y el refuerzo confieren al material final una mejora de las propiedades de los materiales.

Recientemente fue desarrollado por la Universidad Politécnica de Madrid un material híbrido denominado Malecon; es un material laminado de fibra-material constituido por capas de acero y material compuesto de matriz de viniléster y refuerzo de fibra de vidrio. Este material logra unos paneles híbridos con prestaciones superiores a cualquier material que se pueda emplear en la construcción naval actual. El Malecón se caracteriza por ser un material ligero, resistente, tenaz y es capaz de evitar la propagación de las grietas.⁹

2.2.6.1 Clasificación de los polímeros

De los polímeros se pueden hacer varias clasificaciones, pero la más aceptada en basa en el comportamiento térmico de los polímeros:

- Termoplásticos

- Termoestables

Los termoplásticos son polímeros que al calentarse a ciertas temperaturas se convierten en fluidos, lo que permite su moldeabilidad en la forma deseada y ésta se conservará al enfriarse. Son el mayor grupo comercial de polímeros.

Los termoestables son polímeros que no pueden fluir por efecto de la temperatura para ser remodelados. Al ser sometidos a una temperatura elevada

⁹ CONGRESO DE INGENIERÍA NAVAL E INDUSTRIA MARÍTIMA(47º: 2007: Madrid, España).

promueve la descomposición química del polímero. A temperatura ambiente son duros y frágiles.

2.2.6.2 Resinas

En la construcción naval se utilizan diferentes resinas, siendo las más importantes:

-Resinas poliéster: Son las resinas más utilizadas a escala mundial, ocupan un sitio destacado con más del 90% del volumen de consumo entre las matrices termoestables. Su coste es el más reducido entre los polímeros termoestables.

-Resinas viniléster: Este tipo de resina tiene unas características intermedias entre las resinas epoxis y las resinas poliéster. Tiene buenas propiedades físico-químicas y se caracterizan por su buena resistencia al ataque de agentes químicos.

-Resinas epoxi: son las resinas más empleadas debido a que sus características físicas y mecánicas son mejores que las de las resinas poliéster y las resinas viniléster. Además, tiene muy buena capacidad para adherirse a un amplio catálogo de materiales de refuerzo

-Resinas fenólicas: se emplean en aquellos elementos que tienen que tener un buen comportamiento frente al fuego y altas temperaturas.

2.3. Ensayos de caracterización de los materiales de construcción naval

Los materiales siderúrgicos empleados en la construcción naval son probados para determinar si cumplen unas características mecánicas determinadas, de acuerdo con el esfuerzo que se les va a exigir en el proyecto del buque. Estos ensayos se pueden dividir en dos categorías principales:

- Ensayos destructivos
- Ensayos no destructivos

A su vez, en los ensayos destructivos podemos diferenciar entre:

- Ensayos estáticos
- Ensayos dinámicos
- Ensayo de fatiga

Pero también hay una serie de requerimientos en la selección de materiales, para que estos sean los más idóneos dependiendo del trabajo que se les vaya a exigir.

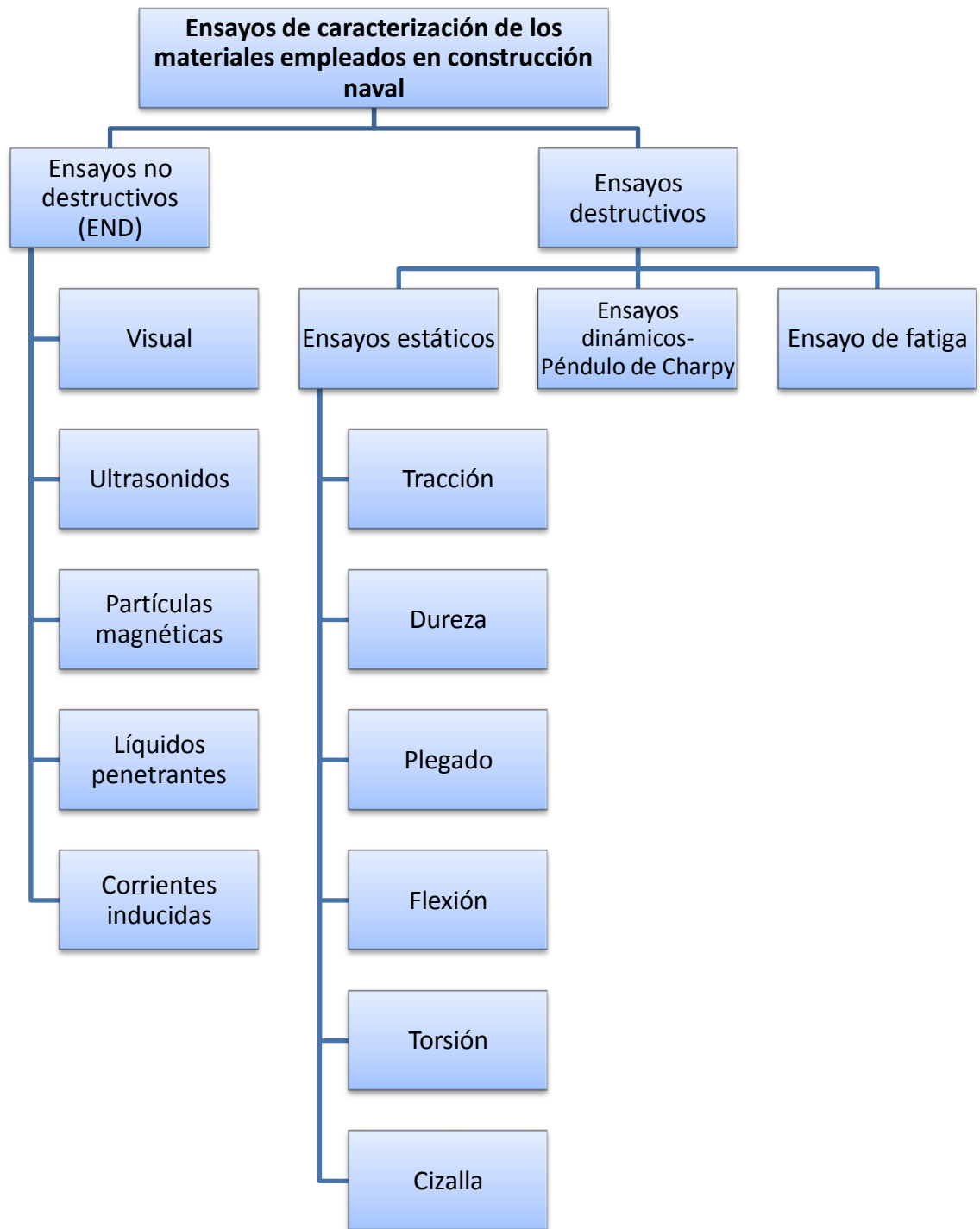


Figura 28. Esquema de los diferentes ensayos de caracterización de los materiales empleados en construcción naval

2.3.1 Requerimientos en la selección de materiales

Los materiales empleados en el casco de un buque deben tener una serie de propiedades, que se enumeran a continuación¹⁰:

- Relación resistencia-peso
- Tenacidad a la fractura
- Resistencia a la corrosión
- Otra serie de cualidades

La razón resistencia/peso representa la relación entre el esfuerzo de fluencia del material y el peso específico de éste. Este parámetro es usualmente empleado en casos en donde se desea mantener un cierto nivel de resistencia mecánica para un mínimo estructural.

La tenacidad corresponde a la habilidad del material para absorber energía de deformación plástica antes de fracturarse; este factor es crítico a bajas temperaturas.

Respecto a la resistencia a la corrosión, los materiales usados en componentes estructurales expuestos a agua de mar u otros ambientes deben tener una alta resistencia.

Otras propiedades de los materiales son: fácil fabricación, buena soldabilidad, durabilidad, buen mantenimiento, y un bajo coste.

2.3.2 Factores de diseño en la selección de materiales

A la hora del diseño de un buque hay que tener en cuenta muchos factores de diseño y muchos factores que afectan al material empleado, pero lo primordial en el diseño es que el peso del buque sea óptimo.

¹⁰ Bonilla de la Corte, A. (1984). *Construcción naval y servicio*. Autor-editor.

El factor primario a considerar cuando en un buque se desea hacer alguna reforma de gran tamaño es el impacto que ello pueda tener sobre el desplazamiento del buque. Por ejemplo, si un nuevo sistema implica un aumento de peso, la fuente más importante para la reducción del desplazamiento incrementado será el reemplazo de materiales de baja resistencia por otros de menor espesor y altamente resistentes.

El objeto al cual se orienta en general el desarrollo de aceros para construcción naval es reducir el costo de construcción a través de un mejoramiento de los procesos de soldadura, los materiales, la tecnología y los procedimientos; mientras, simultáneamente, se mejora la calidad, resistencia y tenacidad del acero. Específicamente, existen cuatro problemas que podríamos denominar genéricos y son:

- La soldadura representa un alto costo tanto en proceso como en mano de obra.

- La mano de obra calificada del soldador suele ser escasa o muy competitiva.

- Los aceros de alta resistencia requieren mayores habilidades y toleran pocos defectos en las soldaduras.

- Los aceros de alta resistencia son caros y en ocasiones difíciles de obtener.

2.3.3 Ensayos no destructivos en los materiales

Se denomina ensayo no destructivo, también llamado END, a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades mecánicas, físicas, dimensionales o químicas.

Las piezas y elementos soldados requieren de la verificación de cómo se elaboró el proceso de fabricación y también sirven para mantenimiento preventivo a nivel industrial, pues la presencia de grietas, nudos, escoria e imperfecciones puede causar la rotura de las piezas. Su propósito es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, componentes y partes fabricadas.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas acústicas, elásticas, electromagnéticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

Los ensayos no destructivos se deben realizar antes de que la pieza se emplee y durante su ciclo de vida. De esta forma podremos detectar grietas, fugas, caracterización de la microestructura o algún tipo de deformación.

Los ensayos destructivos más empleados actualmente son:

- Ensayo visual
- Ensayo con líquidos penetrantes
- Ensayo con ultrasonidos
- Inspección con partículas magnéticas
- Inspección por corriente inducida

2.3.3.1 Ensayo visual

La inspección visual es una secuencia de operaciones que se deslizan a lo largo de todo el proceso productiva de la pieza. El ensayo visual se caracteriza porque nos sirve para identificar a simple vista si los materiales cumplen la especificación requerida por las sociedades de clasificación. Además, nos permite reducir el empleo de otro tipo de ensayos y nos facilita la corrección de defectos que se producen durante el proceso de fabricación

El ensayo visual es el más básico y frecuente; se realiza ayudado por herramientas como citas métricas, upas, calibres, escuadras...

2.3.3.2 Ensayo con ultrasonidos

Se considera ultrasonido aquellas oscilaciones de presión que poseen frecuencias por encima de la gama audible (superior a 20 kHz).

El equipamiento utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar un haz de ondas muy bien definidas sujetas a las leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan.

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo, en el cual un haz sónico de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es introducido en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales. El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades.

Para la realización del ensayo es necesario generar una onda para analizar el material; esta onda se puede generar por varios métodos. Para el ultrasonido se hace uso de cristales piezoeléctricos o de materiales cerámicos ferro eléctrico.

-Piezoelectricidad: propiedad de algunos cristales de convertir energía eléctrica en energía mecánica vibratoria. El material piezoeléctrico empleado es el cuarzo.

-Ferro electricidad: propiedad de algunos materiales cerámicos, previamente polarizados, de comportarse como los cristales piezoeléctricos.

Otros elementos empleados en un ensayo de ultrasonidos son los palpadores y los agentes acoplante. Los palpadores puede ser de un solo cristal (emisor y receptor), de doble cristal (uno emisor y el otro receptor) o múltiples cristales para aplicaciones especiales.

Para realizar el ensayo necesitaremos un palpador y un agente acoplante. Los agentes acoplantes son un medio fluido que permite que el ultrasonido pase del palpador al material de ensayo. Estos agentes acoplantes pueden ser grasas, aceite, vaselina, agua... Cuanto mayor sea la rugosidad del material, mayor será la viscosidad del acoplante.

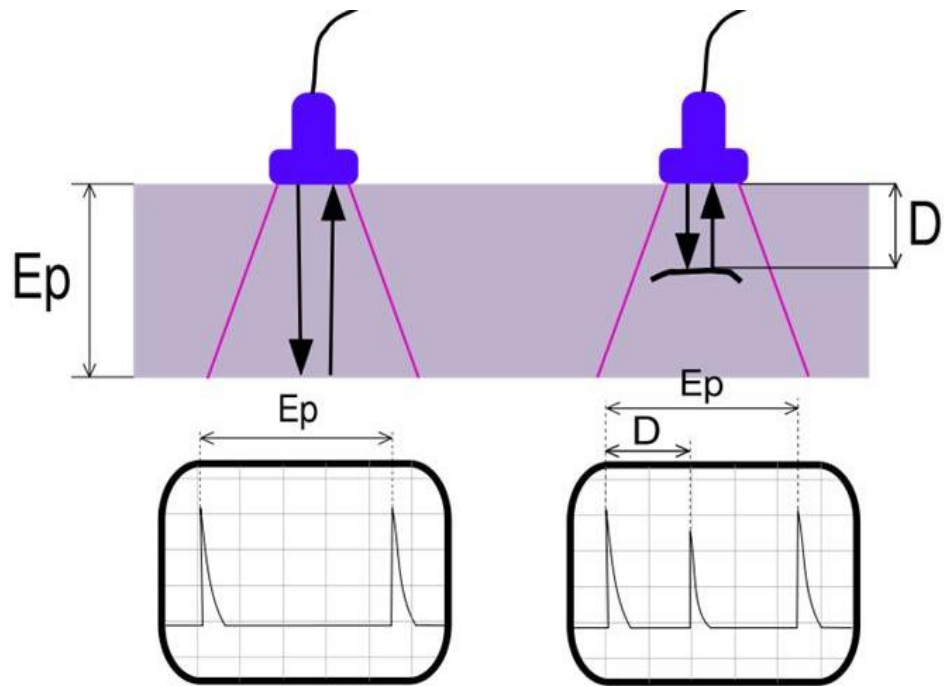


Figura 29. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante ultrasonidos
[\[http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&view=article&id=112:ensayos-no-destructivos&catid=23\]](http://www.mnve.mil.ve/web/index.php?option=com_content&view=article&id=112:ensayos-no-destructivos&catid=23)

Existen tres tipos de ensayos por ultrasonidos:

-Ensayo por transmisión: Este tipo de ensayo puede detectar discontinuidades muy cercanas a la superficie, pero no nos ubica la discontinuidad de la imperfección.

-Resonancia: en este caso se emplean palpadores de frecuencia variable, la cual se varía hasta llegar a la frecuencia de la resonancia.

Este sistema es utilizado para la detección de discontinuidades externas del material y para la medición de espesores.

-Pulso-eco: en este caso, se emiten pulsos de ultrasonido y se esperan reflexiones las cuales pueden proceder de superficies posteriores (palpadores normales) o de discontinuidades, por lo tanto en un osciloscopio mediante el

principio piezoeléctrico aparecen ecos de fondo para cada reflexión. Este tipo de ensayo no detecta discontinuidades muy cercanas a la superficie.

El ensayo mediante ultrasonido se emplea principalmente en piezas fundidas, piezas forjadas y piezas soldadas.

2.3.3.3 Ensayo mediante partículas magnéticas

La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar discontinuidades superficiales e interiores en materiales ferromagnéticos.

El ensayo con partículas magnéticas consta de tres fases: magnetización de la zona a observar, repartición de las partículas magnéticas y la observación de las indicaciones. Consiste en someter a la pieza a inspeccionar a una magnetización adecuada y espolvorear sobre la misma finas partículas de material ferromagnético.

Este tipo de ensayo tiene unas limitaciones, por ejemplo: las películas delgadas de pintura y otros recubrimientos no magnéticos afectan adversamente la sensibilidad de la inspección.

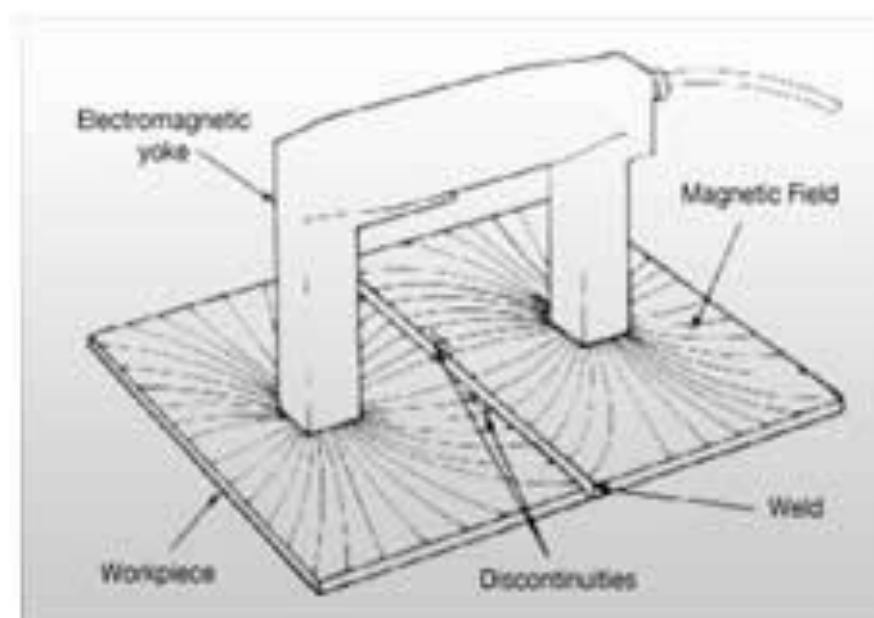


Figura 30. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante partículas magnéticas (I)

[<http://comeind.com.ve/servicio.php?serv=2>]

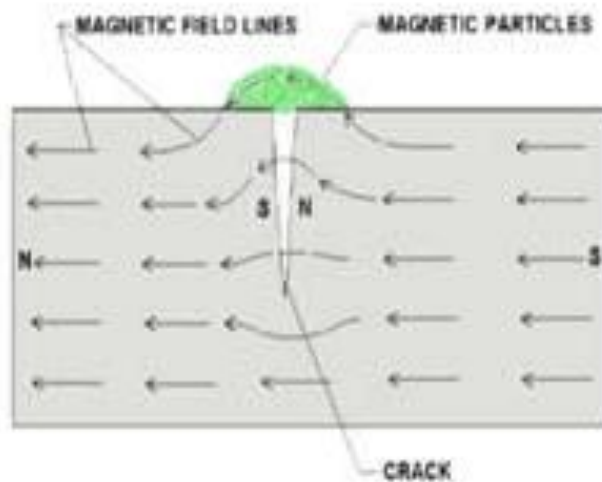


Figura 31. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante partículas magnéticas
(II)

[<http://comeind.com.ve/servicio.php?serv=2>]

Este método de inspección utiliza campos magnéticos para revelar discontinuidades. Cuando un material ferromagnético se magnetiza, aplicando a dos partes cualesquiera del mismo los polos de un imán, se convierte en otro imán, con sus polos situados antagónicamente respecto del imán original. Estas líneas de fuerza forman un flujo magnético uniforme, si el material es uniforme, pero cuando existe alguna alteración en el interior del material, las líneas de fuerza se deforman o se producen polos secundarios. Estas distorsiones o polos atraen a las partículas magnéticas que se aplican en forma de polvo o suspensión en la superficie a inspeccionar y que por acumulación producen las indicaciones que se observan visualmente de manera directa o bajo luz ultravioleta.

El ensayo por partículas magnetizables es utilizado en la localización de discontinuidades superficiales y sub-superficiales en materiales ferromagnéticos. Puede aplicarse tanto en piezas acabadas como en semi-acabadas y durante las etapas de fabricación.

La magnetización de las piezas a examinar se puede realizar de dos formas diferentes como son: magnetización por imanes (utilizando potentes imanes o

electroimanes), o por corriente eléctrica (puede ser por corriente eléctrica circular o longitudinal). La aplicación de las partículas magnéticas puede aplicarse por vía seca (en forma de polvo) o por vía húmeda (con medios acuosos o por disolventes sintéticos).

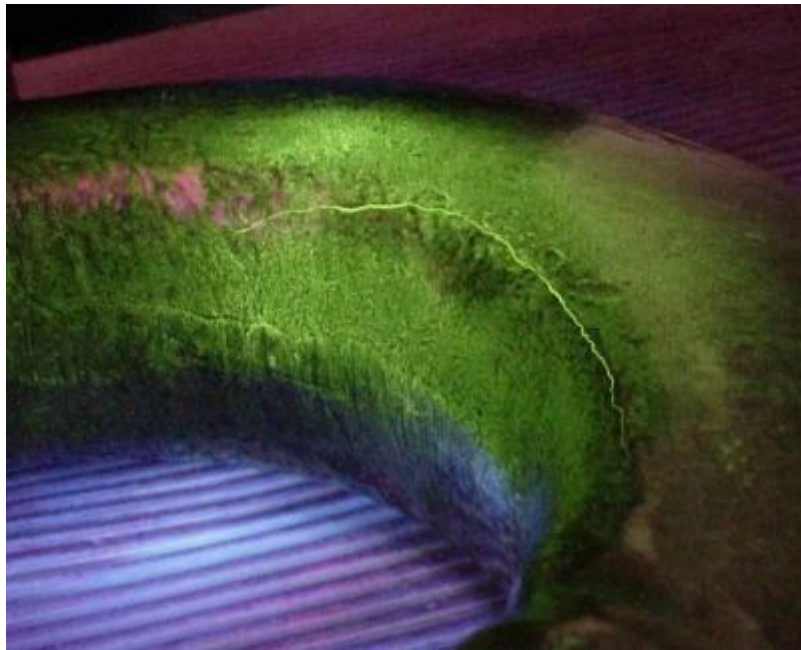


Figura 32. Partículas detectadas mediante partículas magnéticas
[<http://comeind.com.ve/servicio.php?serv=2>]

2.3.3.4 Ensayo mediante líquidos penetrantes

Los ensayos con líquidos penetrantes consisten en la aplicación de un líquido sobre la superficie del cuerpo a examinar, que penetra por capilaridad en las imperfecciones de la soldadura. Una vez limpiado el exceso de líquido, nos revelará el que ha quedado retenido en la imperfección (poros, fisuras, etc.).

Existen dos tipos de líquidos penetrantes, los fluorescentes (siendo estos los más utilizados) y los no fluorescentes. Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que es fluorescente bajo la luz negra o ultravioleta y los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.



Figura 33. Pieza preparada para realizar el ensayo con líquidos penetrantes

[<http://www.end-ndt.cl/liquidos%20penetrantes.html>]

Independientemente del líquido empleado, estos deben de presentar una serie de características que nos permitan hacer un correcto análisis de la pieza. Las principales características son:

- Capacidad para penetrar en orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Deben permanecer en aberturas amplias
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- Tienen que ser capaces de extenderse en capas muy finas.
- Resistencia a la evaporación.
- De fácil remoción de la superficie.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- Cualquier tipo de líquido penetrante debe ser atóxico, incoloro, no corrosivo, antiinflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

Las propiedades físicas y químicas que deben presentar estos líquidos son:

-Tensión superficial: se requiere una tensión superficial baja para obtener buenas propiedades de penetración y mojado.

-Poder humectante: el penetrador debe ser capaz de mojar completamente la superficie del material.

-Volatilidad: los líquidos penetrantes no deben ser volátiles. Si existe una evaporación excesiva de los productos del penetrante, se verá afectada la sensibilidad de todo el proceso, debido tanto al desequilibrio de la fórmula, como a la pérdida del poder humectante.

-Punto de inflamación: los líquidos penetrantes deberán poseer un punto de inflamación elevado con el fin de deducir los peligros de incendio.

-Inactividad química: los productos usados en la formulación de los líquidos penetrantes deben ser inertes y no corrosivos con respecto a los materiales a ser ensayados y a los recipientes que los contienen.

El proceso de aplicación de cualquier tipo de líquido penetrante debe contener las siguientes fases:

-Limpieza inicial de la pieza: las piezas a examinar han de estar libres de sustancias extrañas como grasas, óxidos, aceites, pinturas... Para dicha limpieza se utilizan diferentes detergentes, disolventes y decapantes. Una vez terminado el proceso de limpieza hay que dejar la pieza a examinar totalmente seca.

-Aplicación del líquido penetrantes: el líquido penetrante se puede aplicar de tres maneras distintas: por inmersión en un baño, pulverizando el líquido sobre la pieza o extendiéndolo sobre la pieza con una brocha.

-Medida del tiempo de penetración: el líquido debe permanecer el suficiente tiempo en la pieza para que pueda penetrar e introducirse en las imperfecciones de la pieza a analizar. El tiempo que debe dejarse cada líquido penetrante se especifica en el bote del propio producto.

-Eliminación del líquido sobrante: Una vez pasado el tiempo necesario, hay que limpiar la pieza; podemos realizar esta tarea de varias formas, siendo las más características la inmersión o el pulverizado de un líquido limpiador.

-Aplicación del líquido revelador: al igual que el líquido penetrante, el líquido revelador se puede aplicar por inmersión o por pulverizado. Una vez aplicado, las zonas de la pieza que contengan restos del líquido penetrante, resaltarán a simple vista.

-Examen de la pieza: las imperfecciones aparecen marcadas de forma clara y exacta a lo largo de la pieza a examinar, la observación se hará con luz ultravioleta o con luz blanca, en función del tipo de líquido penetrante que se haya empleado.

-Limpieza final de la pieza: hay que eliminar todo tipo de resto de líquidos, ya sean penetrantes o reveladores, limpiándolos con disolventes o detergentes.

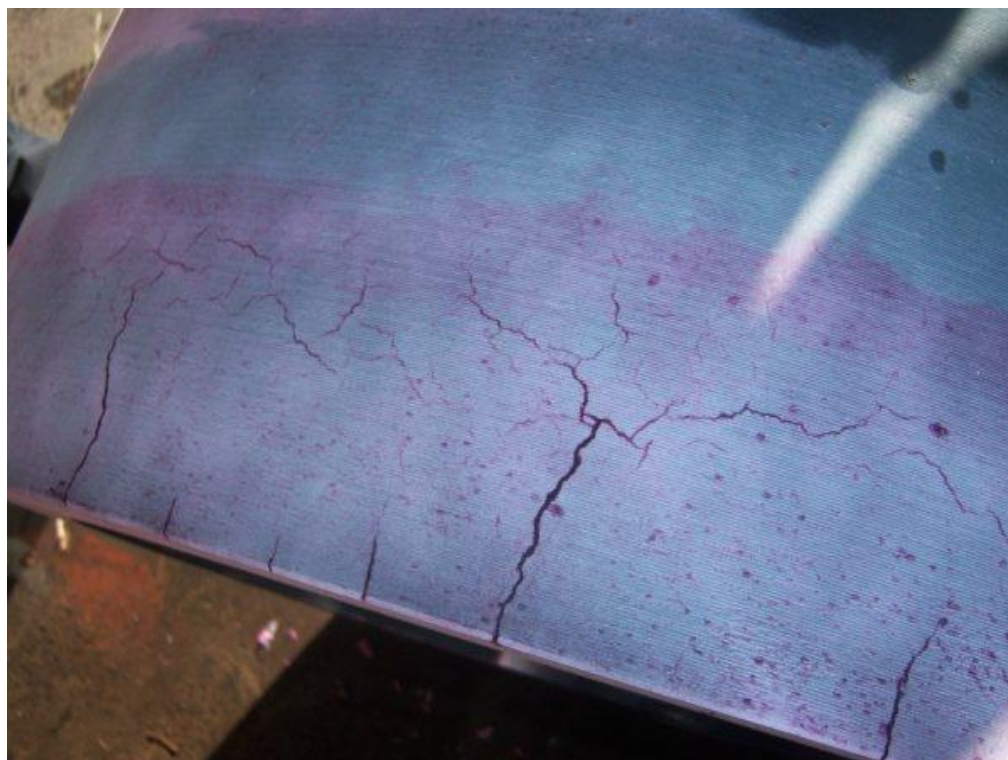


Figura 34. Grietas detectadas mediante el ensayo con líquidos penetrantes
[<http://www.end-ndt.cl/liquidos%20penetrantes.html>]

2.3.3.5 Ensayo mediante corrientes inducidas

El ensayo por corrientes inducidas se basa en la medida de los cambios de impedancia inducidos en un material conductor eléctrico. Este ensayo consiste en hacer pasar una corriente alterna por un solenoide, la cual genera un campo magnético; al colocar la pieza a inspeccionar en dirección perpendicular al campo magnético creado por el solenoide, se generan corrientes inducidas circulares en la pieza. Las corrientes eléctricas inducidas van a producir un campo magnético (secundario), que se va a oponer al campo magnético del solenoide (primario) y modificará la impedancia de la bobina.

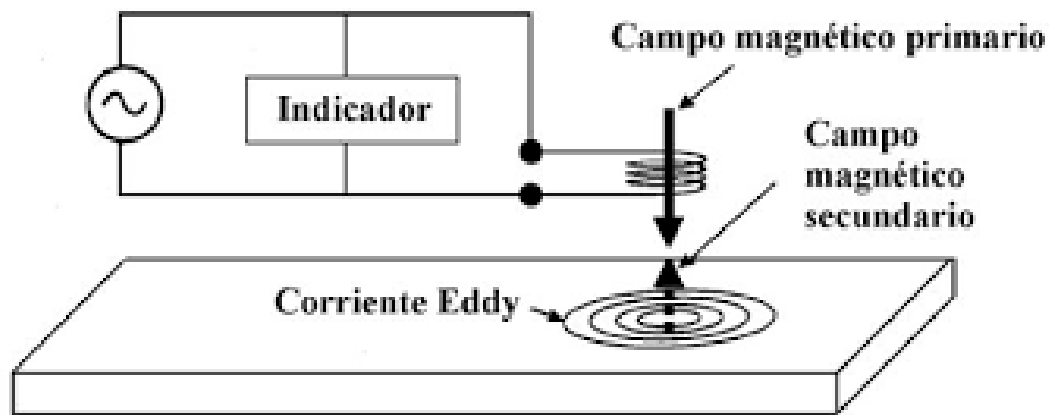


Figura 35. Esquema del funcionamiento del ensayo por corriente inducida
[\[http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=181\]](http://www.obtesol.es/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=181)

La consiguiente variación de la corriente eléctrica que circula por la bobina es el parámetro que se mide y registra. Los defectos existentes en la pieza interrumpen las corrientes inducidas, lo que provoca que el campo magnético producido por dichas corrientes sea menor.

Con este ensayo podemos detectar defectos sub-superficiales cercanos a la superficie y evaluando agrietamientos en las zonas afectadas por soldadura.

El patrón de corrientes inducidas y el campo magnético que necesariamente está asociado a ellas, están influenciados por diferentes características del material bajo prueba. Estas características pueden agruparse en tres grupos:

-Detección de discontinuidades: la detección de discontinuidades se refiere a la localización de grietas, corrosión, erosión y/o daños mecánicos en la superficie de las piezas.

-Propiedades de materiales: utilizando las corrientes inducidas, se pueden determinar propiedades de materiales, se incluyen mediciones de conductividad, permeabilidad, dureza, clasificación de aleaciones y otras condiciones metalográficas que requieren junto con las propiedades ya mencionadas equipos y arreglos de bobinas especiales.

-Mediciones dimensionales: las mediciones dimensionales comúnmente realizadas mediante la aplicación de corrientes inducidas, son la medición de espesores, con buena exactitud para espesores pequeños teniendo la desventaja de no ser precisos en espesores grandes, medición de espesores de revestimientos como pinturas o películas aislantes.

Este ensayo depende de varios factores relacionados con las propiedades del material que va a ser inspeccionado, con las características de los sensores empleados e incluso con el procedimiento de inspección y que influyen en la sensibilidad del método. Entre estos factores cabe destacar la conductividad eléctrica y la permeabilidad magnética:

-Conductividad eléctrica: este es el parámetro principal que define el fenómeno de las corrientes inducidas. A mayor conductividad del material mayor sensibilidad del método, pero con menor capacidad de penetración superficial.

-Permeabilidad magnética: la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de sí los campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que aparece en el interior de dicho material. Se utiliza en la detección de defectos superficiales en piezas metálicas cuya conductividad eléctrica está comprendida entre 0,5 y 60 ($m/\Omega \text{ mm}^2$).

2.3.4 Ensayos destructivos

Los ensayos mecánicos destructivos son aquellos que producen daños o roturas en la pieza que está siendo sometida a ensayo.

Como se dijo anteriormente, los ensayos destructivos se pueden dividir en tres grandes grupos: ensayos estáticos, ensayos dinámicos y ensayos de fatiga.

2.3.4.1 Ensayos estáticos

Los ensayos estáticos son aquellos en que las fuerzas actúan sobre el material que se ensaya, aumentando progresivamente. A este grupo de ensayos pertenece la prueba de tracción, en la que podemos determinar la resistencia a la tracción, el alargamiento y la estricción.

También se pueden incluir este grupo de ensayos estáticos los ensayos de plegado, dureza, flexión, torsión y cizalla.

Los ensayos se realizan sobre una probeta o barra de ensayo, fabricada de forma determinada y del mismo material del que se va a construir el casco del buque posteriormente. Las medidas de estas probetas deben respetar una ley de semejanza, para que las pruebas puedan ser comparativas con las de otros ensayos.

2.3.4.1.1 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción consisten en someter a una probeta de forma y dimensiones normalizadas a un sistema de fuerzas exteriores, de sentido contrario, en la dirección de su eje longitudinal. Con este ensayo podemos obtener los siguientes datos del material estudiado:

- Carga de rotura en kg/mm²
- Alargamiento en %
- Límite elástico en kg/mm²
- Estricción en %

El progreso típico en un ensayo de tracción tiene varios pasos:

- Inicio del ensayo, no hay carga.
- Elongación uniforme y reducción del área de la sección transversal
- Continúa la elongación, se alcanza la carga máxima.

- Se inicia la formación del cuello, la carga comienza a decrecer.
- Fractura.
- Para poder medir la longitud final, el incremento de longitud de la probeta, debemos juntar los dos fragmentos de la probeta fracturada.

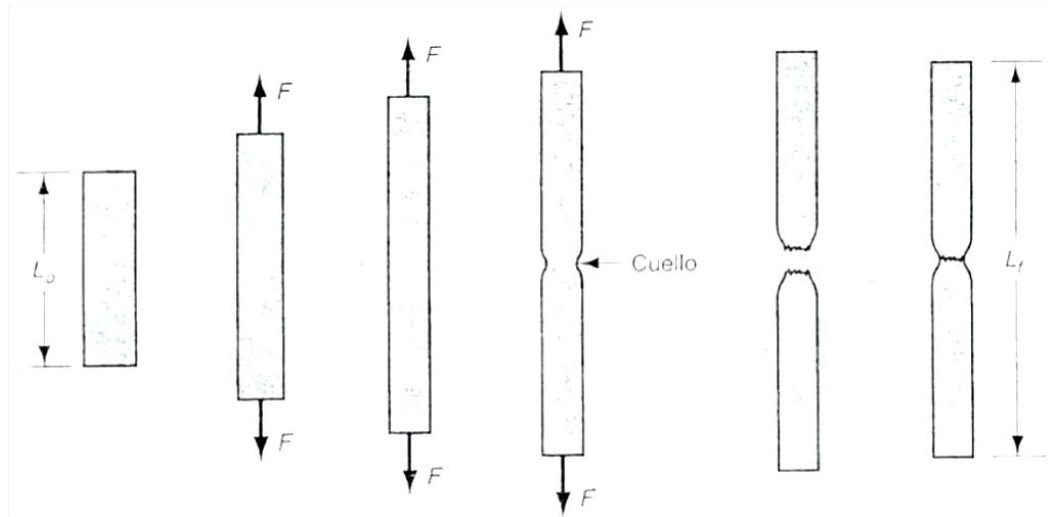


Figura 36. Deformación que sufre la probeta tras el ensayo de tracción
[Bonilla de la Corte, A. (1984). Construcción naval y servicio. Autor-editor]

Las probetas empleadas pueden ser cilíndricas o prismáticas; las cilíndricas se emplean en el estudio de materiales forjados, fundidos o planchas de espesor grueso, mientras que las prismáticas se emplean en planchas de espesores medios y pequeños. Todas las probetas tienen una parte central calibrada que se ensancha en sus extremos (cabezales).

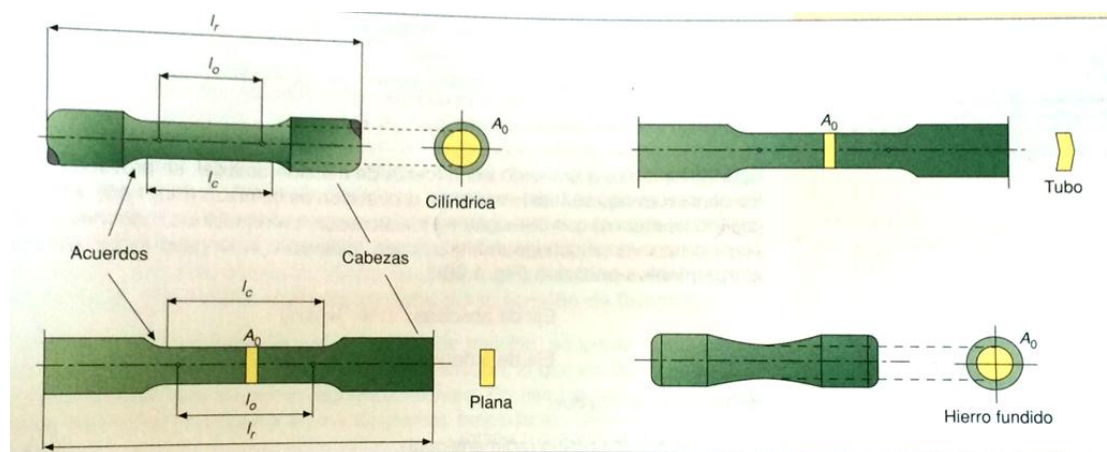


Figura 37. Probetas empleadas en el ensayo de tracción

[Val, S. González, J. (2005) Tecnología Industrial II. Madrid: McGraw Hill]

Las máquinas que se utilizan para realizar este ensayo son dispositivos mecánicos o hidráulicos que somete a las probetas a un esfuerzo o tensión de tracción creciente en todas las secciones transversales. Esto provoca un desplazamiento de las mordazas que sujetan la probeta, que comienza a alargarse. La propia máquina es la que detecta, cuantifica y relaciones las fuerzas aplicadas y los alargamientos producidos.

Los resultados obtenidos en la realización de este ensayo se reflejan en una gráfica, como la de la Figura 33:

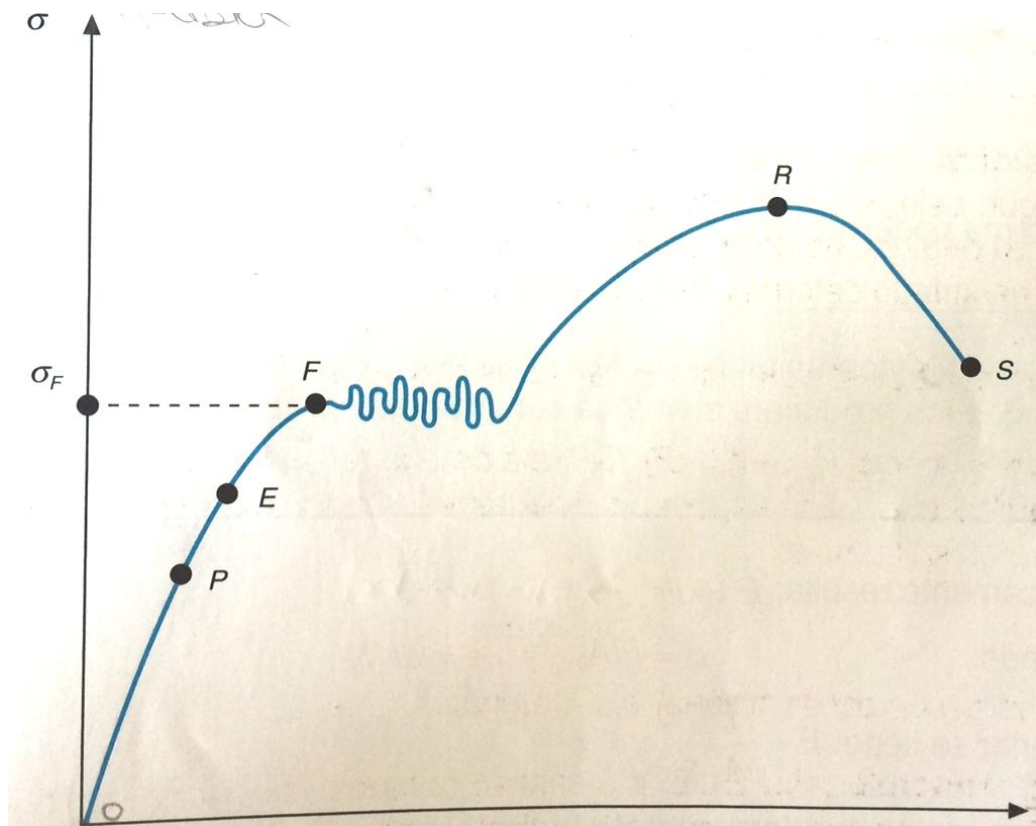


Figura 38. Diagrama de tracción del acero.

[Val, S. González, J. (2005) Tecnología Industrial II. Madrid: McGraw Hill]

En esta gráfica se diferencian 6 zonas diferentes:

-Zona elástica (OE): se caracteriza por que al cesa las tensiones aplicadas los materiales recuperan su longitud inicial.

-Zona plástica (ES): se ha rebasado la tensión del límite elástico, de la tal forma que aunque se deje de aplicar la tensión la pieza ya no recuperará su longitud inicial; el material ha sufrido una deformación permanente.

-Zona de proporcionalidad (OP): existe una proporcionalidad entre las tensiones aplicadas y los alargamientos unitarios.

-Zona no proporcional (PE): en esta zona el material se comporta de forma elástica pero las deformaciones y tensiones no están relacionadas linealmente.

-Zona límite de rotura (ER): en esta zona las pequeñas variaciones de tensión se producen grandes alargamientos. En esta zona los materiales no tienen comportamiento elástico. Al punto R se le denomina al límite de rotura y la tensión aplicada en este punto es la tensión de rotura.

-Zona de rotura (RS): en esta zona el material sigue alargándose progresivamente hasta que se produce la rotura física de la probeta.

2.3.4.1.2 Ensayo de dureza

La dureza es la resistencia que ofrece un material a ser rayado o penetrado por otro; también puede definirse como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse. De lo anterior se deduce que en el ensayo de dureza se mide la resistencia a la penetración que presenta un cuerpo.

Los ensayos de dureza más importantes son:

-Ensayo Brinell: en este ensayo nos basamos en el diámetro de la marca que ha dejado una marca de acero templado, de 10 mm de diámetro sobre la superficie de una probeta, durante 15 segundos y bajo la acción de una carga estática.

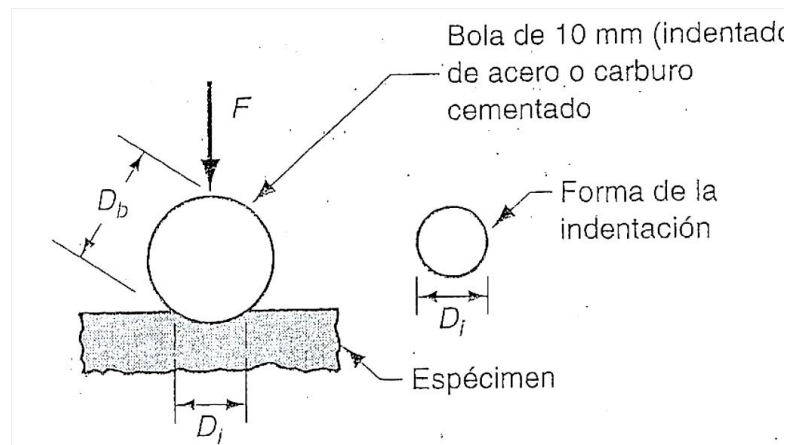


Figura 39. Esquema del ensayo Brinell

[Bonilla de la Corte, A. (1984). Construcción naval y servicio. Autor-editor]

-Ensayo Rockwell: se base en la profundidad de la huella que deja un cono de diamante sobre el material a probar.

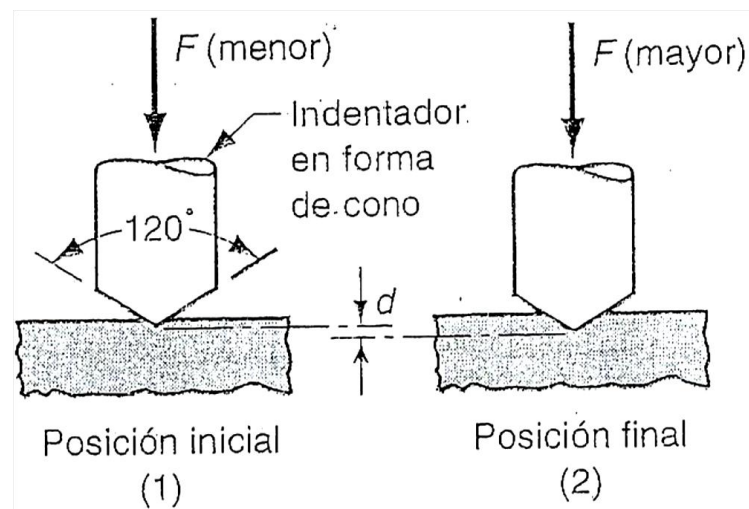


Figura 40. Esquema del ensayo Rockwell

[Bonilla de la Corte, A. (1984). Construcción naval y servicio. Autor-editor]

-Ensayo Vickers: en este caso nos basamos en el diámetro de la marca en forma de pirámide realizada con un penetrador con una punta de diamante.

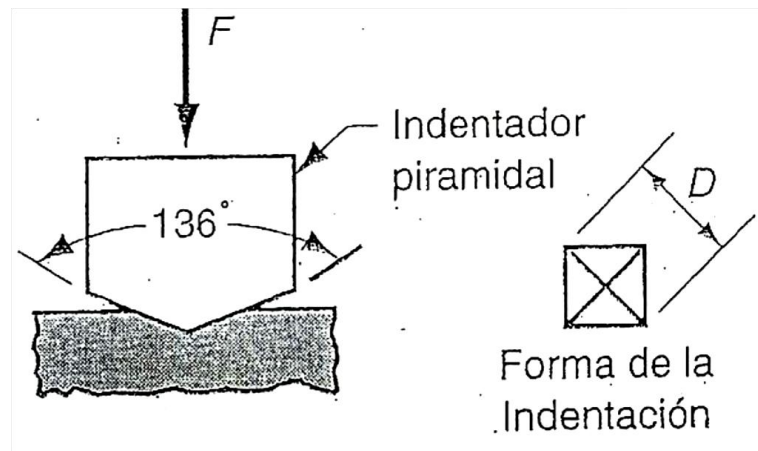


Figura 41. Esquema del ensayo Vickers

[Bonilla de la Corte, A. (1984). Construcción naval y servicio. Autor-editor]

2.3.1.3 Ensayo de plegado

Esta prueba sirve para estudiar las características de plasticidad de los materiales metálicos; se utilizan probetas prismáticas o planas con las aristas redondeadas; se realiza para determinar la ductilidad de los materiales metálicos.

El material se coloca entre los soportes cilíndricos de la máquina de plegado, aplicando la carga lentamente hasta obtener el ángulo de plegado especificado para el mismo, o cuando aparecen las primeras fisuras en la cara inferior.

El ensayo se puede realizar en frío o en caliente según condiciones normalizadas. Las probetas son prismáticas, de sección rectangular y pulida.

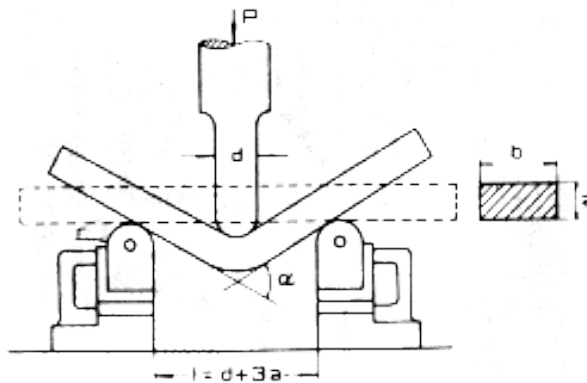


Figura 42. Esquema del ensayo de plegado

[<http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi2000/santa-fe-sur/ensayodemateriales/Ensayos/plegado.htm>]

2.3.4.1.4 Ensayo de flexión

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal

Los objetivos de los ensayos de flexión son principalmente determinar una curva carga-desplazamiento de la probeta y determinar la distribución de deformaciones y de tensiones en el material al estar solicitado el elemento a flexión.

El ensayo de flexión se basa en la aplicación de una fuerza en el centro de una barra rectangular, la cual está siendo sujeta en los extremos, para determinar la resistencia del material hacia una carga estática o aplicada lentamente.

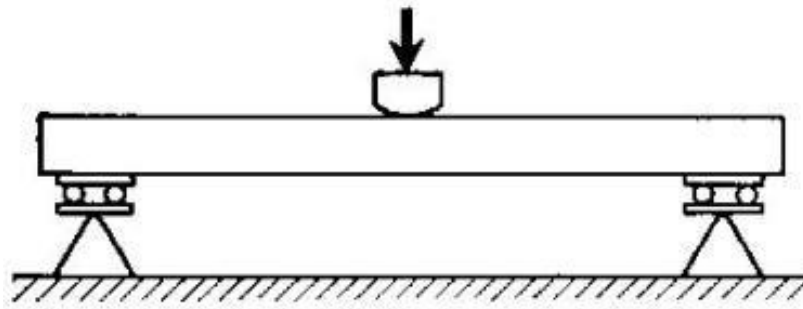


Figura 43. Esquema del ensayo de flexión

[<http://www.utp.edu.co/~gcalle/Contenidos/Flexion.htm>]

2.3.4.1.5 Ensayo de torsión

Este ensayo nos permite determinar el comportamiento de materiales sometidos a cargas de giro. Los datos del ensayo de torsión se usan para construir un diagrama carga-deformación y para determinar el límite elástico del módulo elástico de torsión, el módulo de rotura en torsión y la resistencia a la torsión.

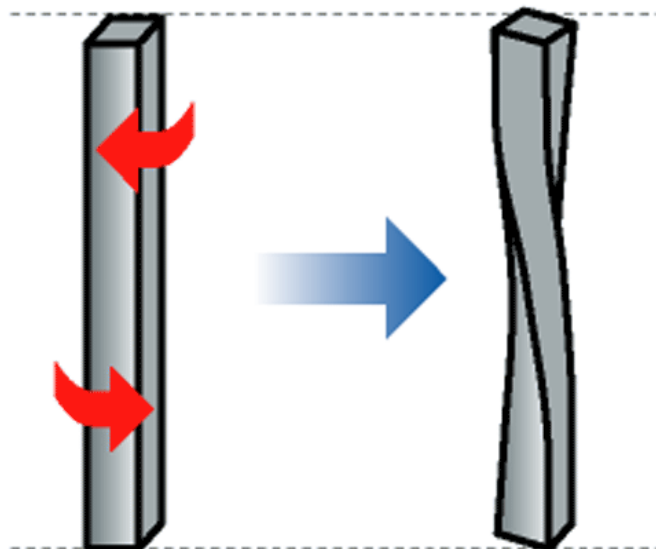


Figura 44. Esquema del ensayo de torsión

[http://skat.ihmc.us/rid=1333863002097_305516651_45986/2%Cargas%20y%20Esfuerzos.cmap]

2.3.4.1.6 Ensayo de cizalla

Las fuerzas que actúan sobre la probeta lo hacen en sentidos contrarios sobre dos planos contiguos del cuerpo, tratando de producir el deslizamiento de uno con respecto al otro.

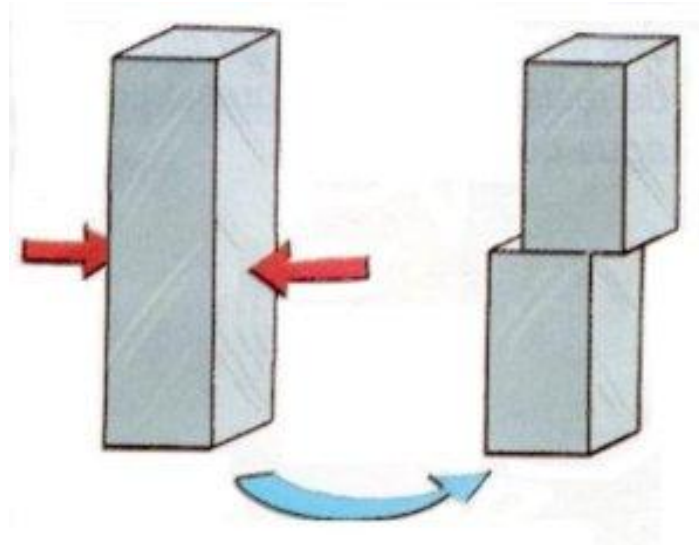


Figura 45. Esquema del ensayo de cizalla

[<http://es.scribd.com/doc/189684646/Monografia-Prop-Materiales-III#scribd>]

2.3.4.2 Ensayos dinámicos. Péndulo de Charpy

Hasta ahora, hemos visto los ensayos estáticos; ahora procederemos a explicar los ensayos dinámicos, en los que las fuerzas aplicadas obran de una sola vez.

La prueba de flexión por choque es la más utilizada, recibiendo el nombre de Prueba de resiliencia y se puede analizar mediante el Ensayo Charpy.

El ensayo Charpy permite calcular la cantidad de energía que absorbe una probeta al ser golpeada por un pesado péndulo en caída libre (carga dinámica) y evaluar la resistencia del material frente al impacto, resiliencia (J/cm^2), al variar la temperatura de ensayo.

En este ensayo las probetas son de sección rectangular y lleva una muesca en el centro para facilitar la rotura.

La máquina con la que se realiza el ensayo Charpy consta de una masa que cuando oscila sin ningún obstáculo que romper, tiene una escala con un índice que se pone en cero. Cuando en su camino se le interpone la probeta de ensayo, la rompe, pero su índice ya no marca cero, porque se frenó.

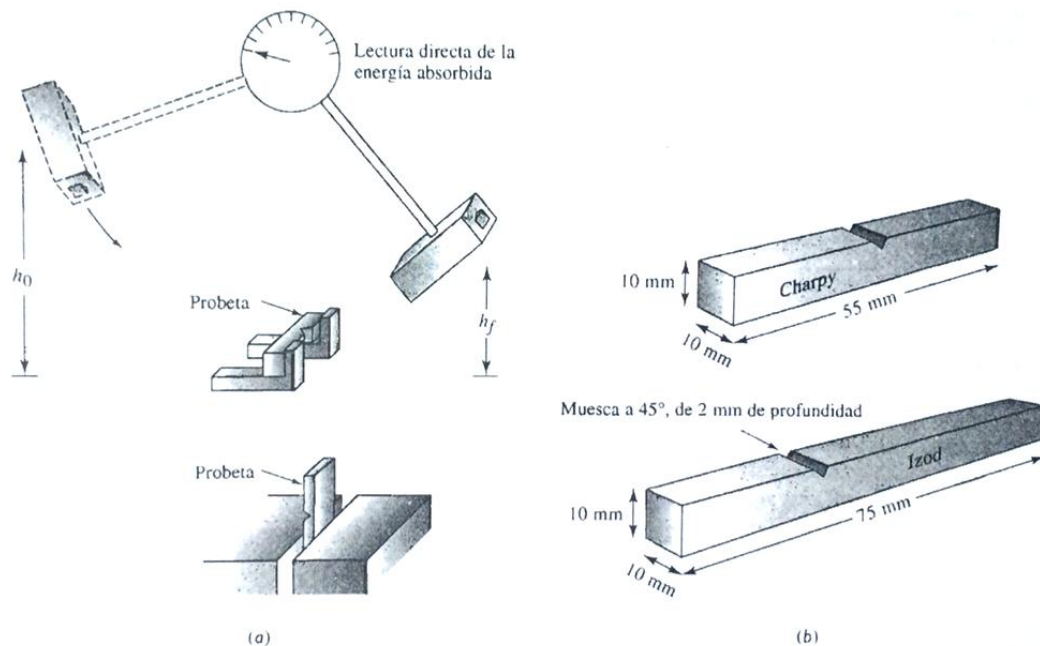


Figura 46. Esquema del ensayo con el Péndulo Charpy

[Askeland, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. México: International Thomson]

2.3.4.3 Ensayo de fatiga

Cuando determinadas piezas están sometidas a esfuerzos variables de magnitud y sentido se que repiten con frecuencia, se pueden romper con una carga inferior a la carga de rotura; este fenómeno es conocido como fatiga.

En este ensayo las sollicitaciones pueden tener lugar, durante los esfuerzos longitudinales, de flexión y de torsión.

Las leyes fundamentales de la fatiga son:

-Las piezas metálicas pueden romperse bajo esfuerzos unitarios inferiores a su carga de roto si el esfuerzo se repite un número suficiente de veces.

-Para que la rotura no tenga lugar es necesario que la diferencia entre la carga máxima y la mínima sea inferior al límite de fatiga.

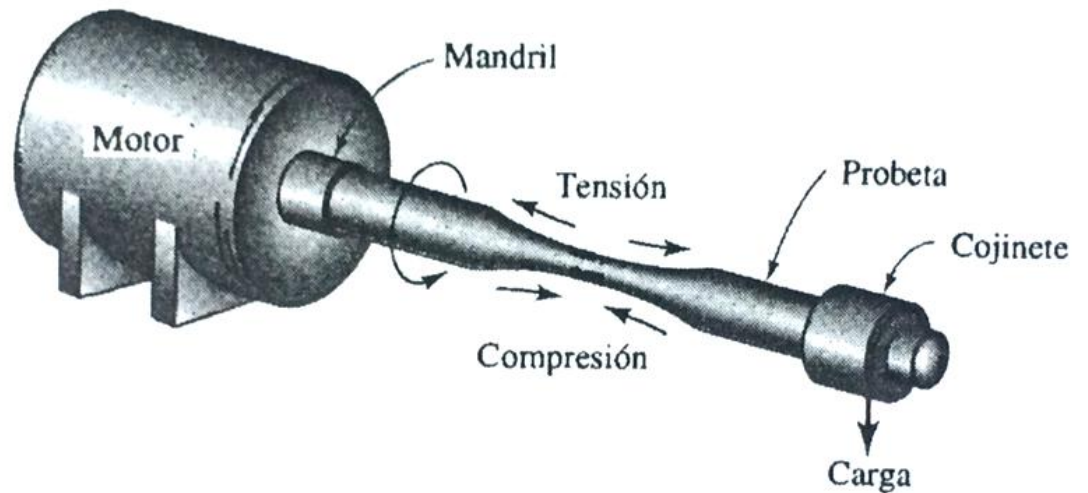


Figura 47. Esquema del ensayo de fatiga de una viga voladiza rotatoria
[Askeland, D. Ciencia e ingeniería de los materiales. México: International Thomson]

2.4 Tipos de corrosión que experimentan los materiales empleados en construcción naval

Para el término corrosión son aceptadas varias definiciones y todas ellas correctas, pero la definición más generalizada y la que mayor aceptación tiene es que la corrosión es el deterioro, fenómeno natural por el cual los materiales pierden sus propiedades iniciales, en sistemas metálicos.



Figura 48. Corrosión en una barandilla en Avenida Manuel García Lago (Santander, Cantabria)

Los metales se encuentran en la naturaleza formando compuestos con otros elementos. Sólo los metales llamados *nobles* aparecen, naturalmente, en estado puro. A los metales restantes, para usarlos en su forma elemental, es necesario someterlos a un proceso de reducción, lo que requiere comunicarles una cierta

cantidad de energía; así pues, el metal tenderá a perder este suplemento de energía para recobrar su estado termodinámicamente más estable.



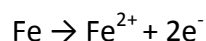
Figura 49. Corrosión en un banco en los Jardines de Piquío (Santander-Cantabria)

Los elementos metálicos pueden sufrir otra clase de daños que pueden ser causados por medios físicos, estos daños pueden propiciar la aparición de la corrosión, por ejemplo al provocar el desprendimiento de la capa de pintura que protege la pieza; pero no es un tipo de corrosión como tal.

La corrosión se caracteriza por ser una reacción química, natural y espontánea del material metálico con el medio que los rodea, en donde se encuentra inmerso o en contacto; pasando el metal de un estado elemental a un estado combinado. La reacción química básica de la corrosión viene expresada por la siguiente fórmula:



En el caso de los aceros, la ecuación de la corrosión correspondiente sería:



El motivo por el que se corroen los sistemas metálicos es para poder alcanzar el equilibrio termodinámico; es decir la reacción tiene que atender a la ecuación:

$$\Delta G = -nFE < 0$$

El potencial de equilibrio debe ser positivo, para ver si los procesos, en las condiciones de trabajo que se nos presentan, son favorables para que se produzca el equilibrio termodinámico. Para estudiar el comportamiento termodinámico de la corrosión se recurre a los diagramas de Pourbaix, que nos permite determinar los límites de estabilidad de un metal¹¹.

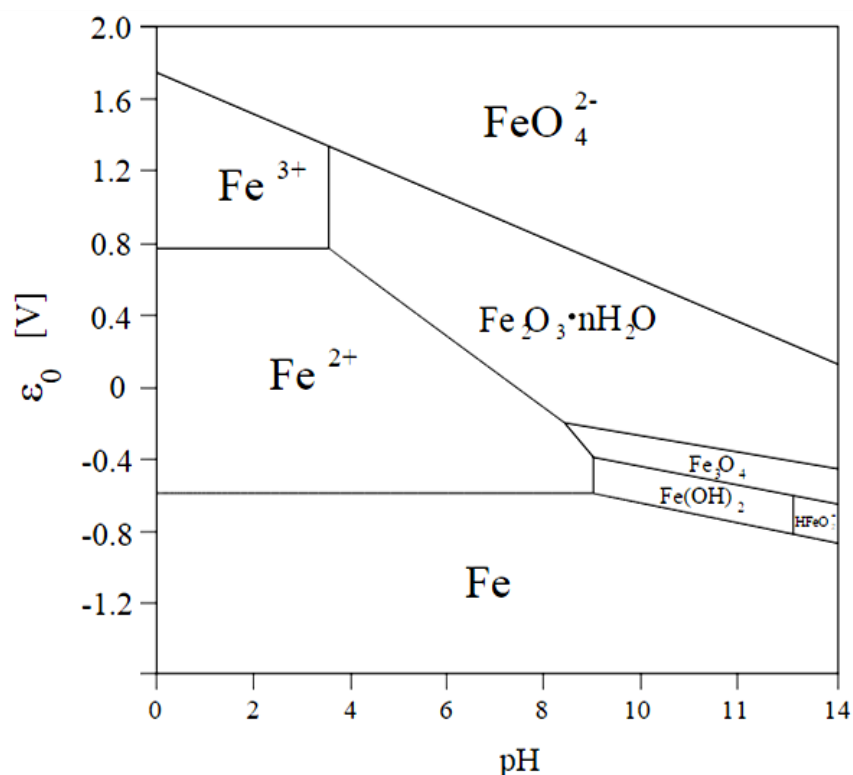


Figura 50. Diagrama de Pourbaix

[Devis, J.R. (2000). Corrosion, understanding the basics. USA: ASM Int]

¹¹ Winston Revie, R. (2011). Uhlig's corrosion handbook. Ottawa: Wiley. 3th ed.

La corrosión no es una característica exclusiva de los elementos metálicos, en otros materiales como polímeros, se puede producir pero en menor proporción y sus efectos no son tan devastadores como en los elementos metálicos; por lo que en el presente proyecto solo se estudia en los metales.

2.4.1 Clasificación de los tipos de corrosión

La corrosión puede clasificarse principalmente según la morfología del ataque, el medio de ataque (agua dulce, agua de mar, ácidos...) y la acción mecánica. Aunque existen otros tipos de clasificación, estos son de menor importancia. En la Tabla 16 se presenta la clasificación de los tipos de corrosión:

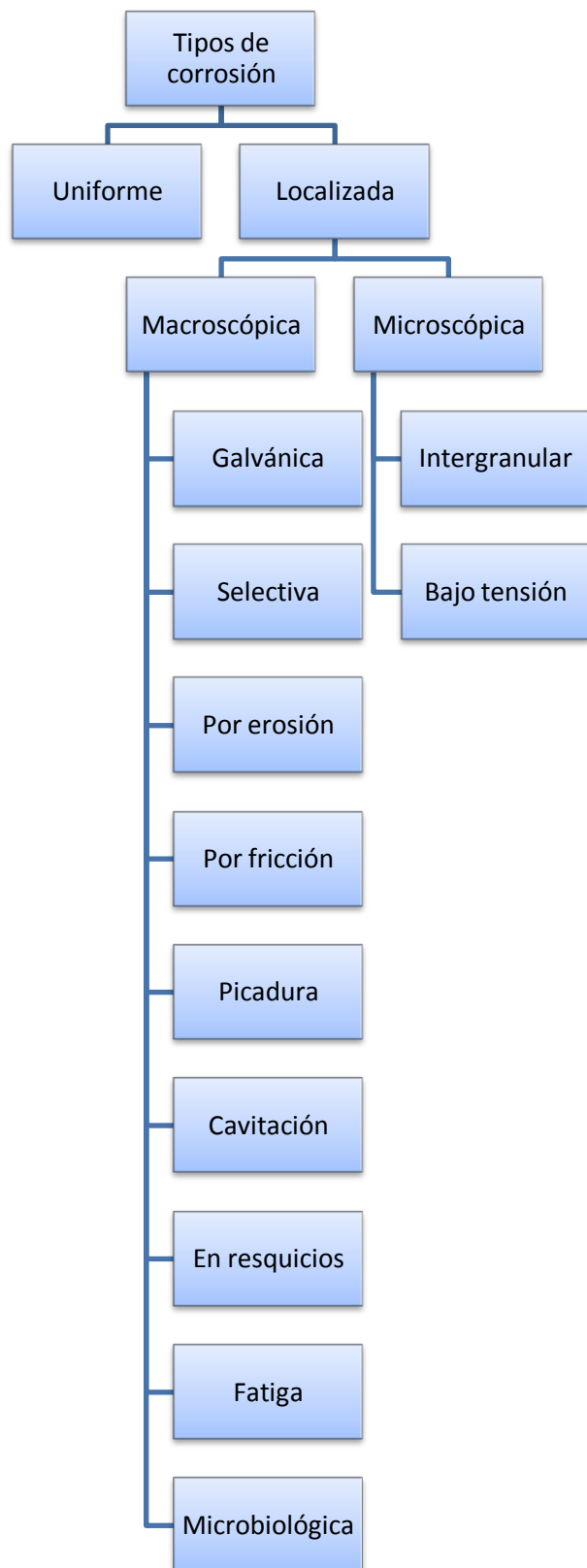


Figura 51. Clasificación de los tipos de corrosión.

A su vez, la morfología del ataque también puede ser dividida en diferentes tipos de corrosión, siendo los que se presenta con mayor asiduidad la corrosión uniforme, la corrosión por picadura, la corrosión microbiológica y la corrosión galvánica. Los tipos de corrosión que os encontramos con más frecuencias en ambientes marinos son la corrosión generalizada, corrosión por picadura y corrosión galvánica.

A continuación, se encontrará cada tipo de corrosión un poco más detallada.

2.4.1.1 Corrosión uniforme

La corrosión uniforme, también conocida como corrosión generalizada, es el tipo de corrosión más común y ataca a casi todos los metales expuestos a cualquier ambiente atmosférico de forma homogénea por toda la superficie, avanzando de forma observable y con una velocidad constante. Se puede dar a bajas y altas temperaturas. En este caso, en la pieza aparecerá una capa con distintas propiedades a la pieza original.



Figura 52. Casco de un buque con corrosión generalizada

[<http://elrincondedefisicoquimica.blogspot.com.es/2014/03/corrosion.html>]

A pesar de lo común de este tipo de corrosión, en el aluminio, que es uno de los elementos que se estudia en este proyecto, no se presenta este tipo de corrosión, sino que es característico del aluminio la corrosión por picadura, la cual se estudiará en el apartado 2.3.1.3.

Para conocer el grado de deterioro que presenta los elementos metálicos y poder clasificarlos la norma Sueca SIS 055900¹² ha establecido una escala para identificar los estados superficiales de corrosión uniforme sin recubrir; los grados se clasifican en A, B, C y D.

-Grado A: El primer tipo de corrosión puede aparecer al poco tiempo de que el material haya sido expuesto al ambiente atmosférico; la capa de laminación del material seguirá prácticamente intacta, es decir, la corrosión será muy superficial.



Figura 53. Pieza con un grado A de corrosión
[<http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>]

¹² <http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>

-Grado B: Transcurrido un periodo de 2 o 3 meses aparece un principio de corrosión, la capa de laminación comenzará su desprendimiento.



Figura 54. Pieza con una grado B de corrosión
[<http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>]

-Grado C: En este caso, la cascarilla de laminación ha desaparecido por completo debido a la corrosión. La capa de corrosión podría ser eliminada mediante un cepillado, ya que la corrosión no ha formado cavidades gran escala; el tiempo transcurrido es de aproximadamente 1 año.



Fig 55. Pieza con una grado C de corrosión
[<http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>]

-Grado D: El último grado de corrosión establecido es el máximo grado de corrosión y en este caso los materiales se encuentran prácticamente deshechos por no haber recibido ningún tipo de tratamiento anticorrosivo.



Fig 56. Pieza con una grado D de corrosión

[<http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>]

2.4.1.2 Corrosión galvánica

Es la corrosión que aparece cuando hay contactos eléctricos entre dos metales distintos, de diferente actividad electroquímica inmersos en un medio agresivo. Es decir, cuando dos metales con diferente electronegatividad entran en contacto uno de ellos comenzará un proceso de corrosión, mientras que el otro no se corroerá.

La velocidad de corrosión dependerá del potencial eléctrico (E^0), éste funciona como una fuerza directriz para el paso de corriente eléctrica a través del agente corrosivo; cuánto mayor diferencia de potencial eléctrico haya entre los dos metales mayor se corroerá el ánodo. Los ánodos es el elemento del par formado que menor potencial eléctrico tiene, mientras que el cátodo tiene un potencial eléctrico es mayor.

La corrosión galvánica también se puede dar dentro del mismo grupo de metales debido a las imperfecciones que se pueden presentar en la superficie del metal o debido a alguna variación química.

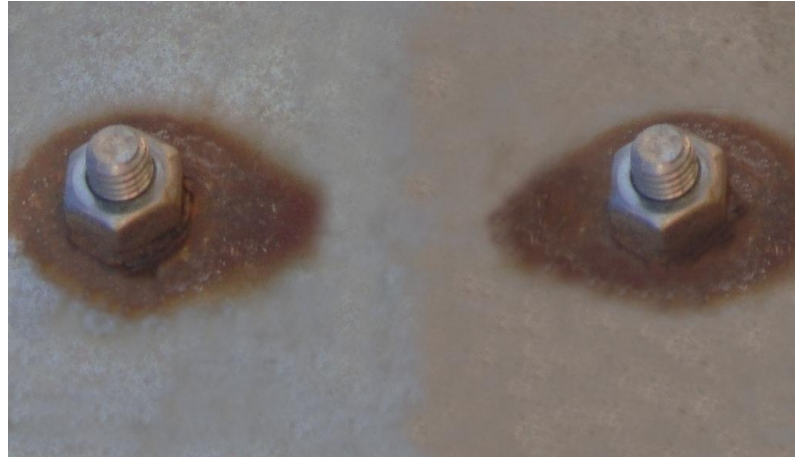


Figura 57 .Corrosión galvánica de una chapa de acero galvanizado que se encuentra en contacto con acero inoxidable

[https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n_galv%C3%A1nica]

2.4.1.3 Corrosión por picadura

Este tipo de corrosión, también conocido como pitting, son una de las formas más agresivas de corrosión lo que puede provocar un fallo prematuro en los elementos debido a la perforación que sufre la superficie de las piezas.

Es un proceso de disolución anódica local donde hay un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor, lo que provoca que la pérdida de material sea muy rápida.

En las primeras etapas de esta corrosión es muy difícil detectarlas, pero según vayan aumentando su diámetro serán reconocibles a simple vista. Según pase el tiempo y el material siga sufriendo picaduras estas aumentarán su diámetro.



Figura 58. Picaduras en pieza una pieza de aluminio

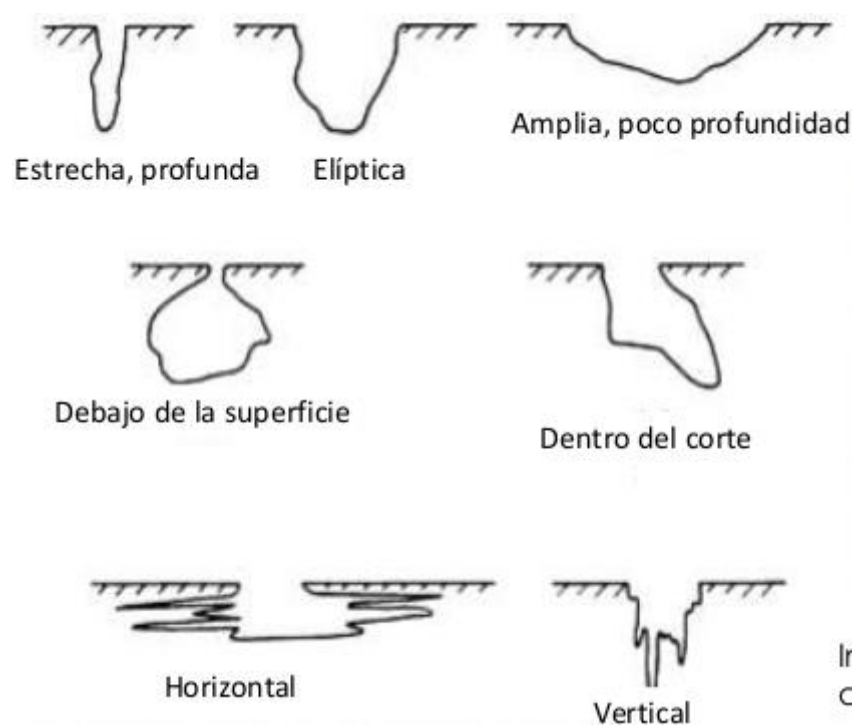


Figura 59. Esquema gráfico de los tipos de corrosión por picadura
[\[http://es.slideshare.net/Augusto2602/cp-final-42032904\]](http://es.slideshare.net/Augusto2602/cp-final-42032904)

2.4.1.4 Corrosión selectiva

La corrosión selectiva es similar a la corrosión galvánica; la corrosión selectiva es el tipo de corrosión que actúa sobre uno de los elementos de la aleación, puede deberse a defectos estructurales o defectos en la propia aleación. Se caracteriza por actuar sobre los elementos más nobles, como por ejemplo el platino y el oro. Este tipo de corrosión provoca que los materiales pierdan propiedades mecánicas.

Uno de los ejemplos más comunes de la corrosión selectiva se puede encontrar en la aleación del latón (cinc y cobre).



Figura 60. Ejemplo de la descincificación del latón

[<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8233/1/CorrTema6.pdf>]

2.4.1.5. Corrosión por erosión

Este tipo de corrosión se presenta cuando un elemento metálico está en permanente contacto con un fluido líquido, el cual está en movimiento. La corrosión por erosión se presenta a nivel superficial y provoca un rápido desgaste del metal debido a que el fluido provoca la desaparición de la capa pasivante. El ataque se produce en áreas donde la velocidad del fluido es alta o su caudal es turbulento; caracterizando, por lo tanto, a este tipo de corrosión por crear surco direccionales en el metal.

En la Figura 56 hay un ejemplo esquemático de cómo la erosión ataca a los elementos metálicos:

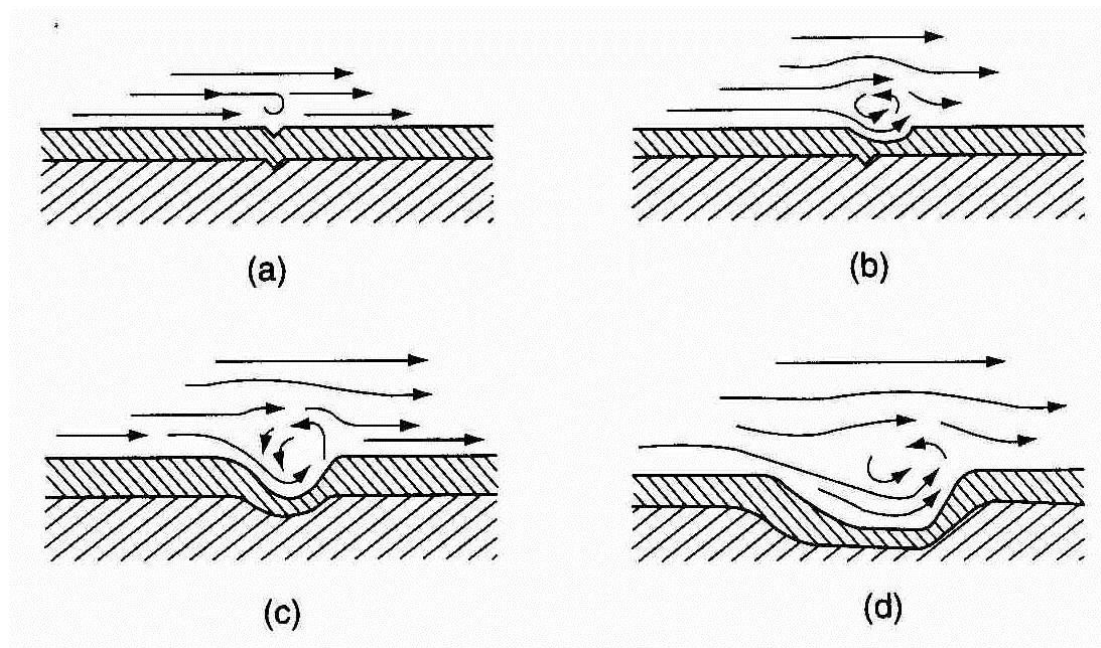


Figura 61. Ejemplo esquemático de cómo la erosión ataca a los elementos metálicos
[<http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>]

2.4.1.6 Corrosión por cavitación

Es la corrosión producida por la formación y colapso de las burbujas de un fluido sobre la superficie de un metal, lo que provoca una serie de picaduras en forma de canal. Se suele dar en las zonas en las que el fluido lleva una gran velocidad y existen cambios de presión, lo que provoca que el fluido elimine las partículas de la capa superficial del metal y, con ello, eliminando la capa de pasivación. Es característico que en turbinas y hélices se de este tipo de corrosión, por su constante contacto con un fluido.

En la Figura 57 se observa un impulsor que ha sufrido corrosión debido a la cavitación:



Figura 62. Elemento metálico que ha sufrido corrosión por cavitación
[<https://areamecanica.wordpress.com/2011/07/28/ingenieria-mecanica-la-cavitacion-en-bombas-centrifugas/>]

2.4.1.7 Corrosión por resquicios

La corrosión por resquicio es un fenómeno corrosivo que ocurre en partes del elemento metálico que no se encuentran bien aireadas o que presentan una geometría complicada. La corrosión por resquicios aparecerá, en primer lugar, en aquellas zonas de la pieza donde la capa de pasivación ha desaparecido y la aireación no es la correcta.

En la Figura 58 se puede apreciar como un tornillo y una tuerca ha sido atacados por la corrosión en resquicios en las zonas donde tienen una geometría más compleja.



Figura 63. Tornillo y tuerca que presentan corrosión en resquicios
[<http://www.labcyp.com/admin/15.pdf>]

2.4.1.8 Corrosión bajo tensión

La corrosión bajo tensión, también denominada CBT, es un tipo de corrosión que hace que aparezcan fisuras en el material y que éste rompa muy por debajo del valor de su tensión. La CBT es un mecanismo de rotura progresivo que aparece cuando se juntan dos factores: un medio ambiente corrosivo y una tensión de tracción constante, que pueden ser residuales. Por lo general, este tipo de corrosión se encuentra en ausencia de cualquier otro tipo de ataque corrosivo.

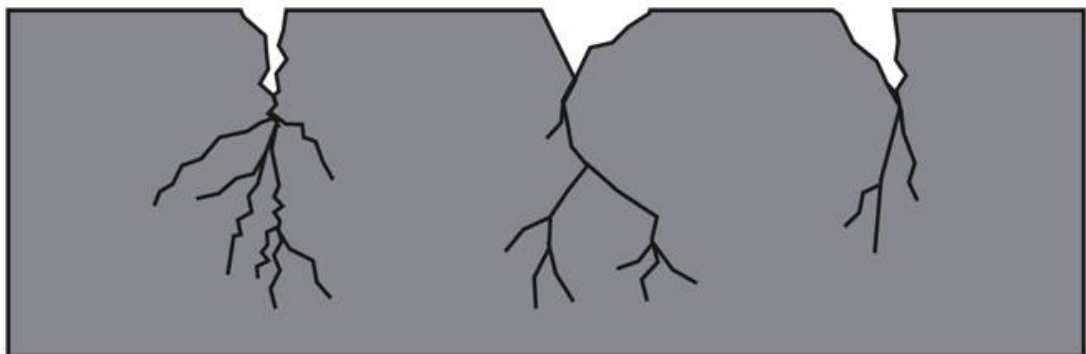


Figura 64. Esquema gráfico de la aparición de grietas en un elemento metálico
[<http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>]

2.4.1.9 Corrosión por fatiga

La corrosión por fatiga se debe a la acción de una tensión cíclica en el tiempo que, en presencia de un medio corrosivo, genera variaciones entre sollicitaciones a tracción y compresión en la pieza, provocando la reducción de la resistencia a la fatiga de la misma y provocando la rotura de las capas de pasivación, lo que favorece la formación y desarrollo de las grietas.

En la Figura 59 se observa como dos tornillos presentan una total corrosión debido a la fatiga a la que han sido sometida:



Figura 65. Tornillos que han sufrido una corrosión por fatiga
[<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8704/1/T-ESPE-ITSA-000180.pdf>]

2.4.1.10 Corrosión por fricción

Tipo de corrosión producido por el movimiento, relativamente pequeño, de un fluido y un metal que están en contacto. El movimiento relativo de ambas piezas genera una serie de picaduras en la superficie del metal que provoca su posterior

deterioro. Este caso de corrosión se ve aumentado por la fricción que aparece entre ambas piezas. Los factores que provocan que la corrosión por fricción aparezca prematuramente son: falta de lubricación entre piezas metálicas, la velocidad de fricción relativa entre los elementos y la fuerza de rozamiento.



Figura 66. Ejemplo de corrosión por fricción

[<http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>]

2.4.1.11 Corrosión intergranular

Es un tipo de corrosión localizada que ataca al límite del grano de forma microscópica. Es muy característico en los aceros inoxidable austeníticos, provocando una pérdida de sus propiedades mecánicas. Las principales causas que hacen que aparezca la corrosión en el límite del grano son los tratamientos térmico que recibe el material y las soldaduras que se emplean, lo que provoca que el material llegue a temperaturas críticas.

En la Figura 67 se aprecia como la corrosión a ataco a los límites de grano en una placa de acero inoxidable AISI 304:

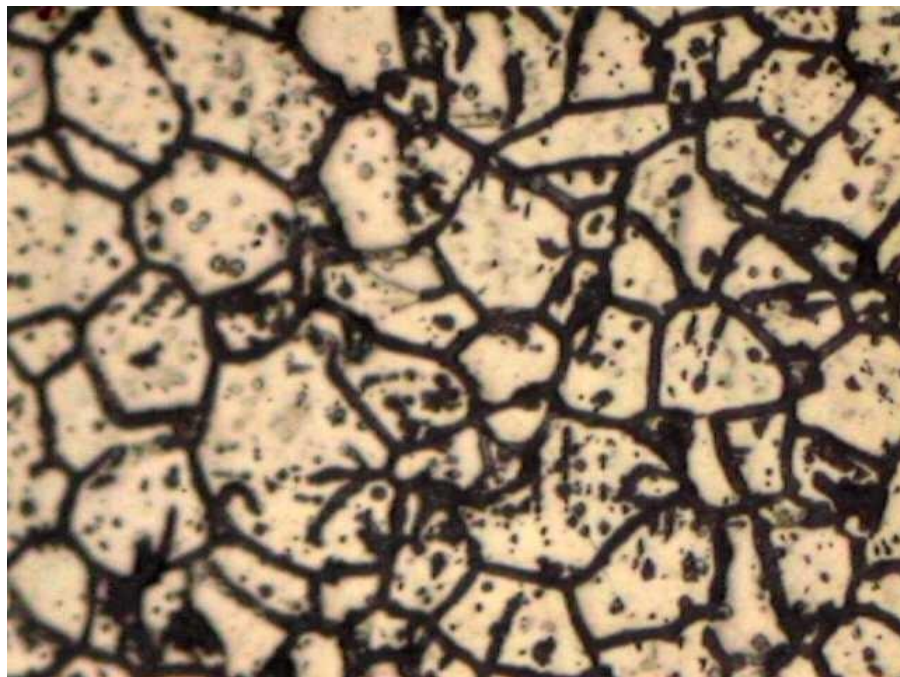


Figura 67. Ejemplo de corrosión intergranular

[<http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>]

2.4.1.12 Corrosión microbiológica

La corrosión microbiológica es aquella corrosión en la cual organismos biológicos son la causa de la corrosión; este tipo de corrosión aparece, generalmente, en medios acuosos en donde el metal se encuentra sumergido o flotando.

La Figura 68 es un ejemplo de cómo los microorganismos pueden atacar a un elemento metálico:



Fig 68. Corrosión microbiológica en un elemento metálico

[<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/12790446/Corrosion-y-Anticorrosivos.html>]

2.5 Tratamientos anticorrosivos empleados en ambientes marinos

El buque, a lo largo de toda su vida, está sometido a un ambiente húmedo y salino. Esto puede dar lugar a la formación rápida de una capa de óxido, que en algunos casos puede crecer a una velocidad 0,1 mm/año. Sin embargo, esta cantidad se ve sensiblemente aumentada por una serie de fenómenos electroquímicos. La conservación del buque se hace recubriendo su superficie metálica con la mayor perfección posible, con lo que se evita o disminuye el efecto de la corrosión y se evita, además, las incrustaciones.

La resistencia a la corrosión se puede aumentar mediante cambios en la composición, en la estructura, en su condición tensional con cambios en la condición superficial; pero lo primordial será hacer una correcta selección de la

materia. También será importante que las piezas hayan sido diseñadas de manera correcta.

Uno de los mejores sistemas para evitar la corrosión son los inhibidores, que son sustancias que retardan la velocidad de corrosión, reduciendo la actividad de las pilas locales de corrosión. Se aplica en medios acuosos. Pero el método anticorrosivo más utilizado son los recubrimientos que se usan para aislar el material del medio agresivo mediante un “efecto barrera”.

La lucha contra la corrosión es un objetivo principal para evitar grandes pérdidas económicas. Esta lucha puede desarrollarse de varios métodos, por ejemplo con el desarrollo de nuevos materiales más resistentes a la corrosión, mejorando el diseño de los materiales ya existentes, cambiando el potencial metal/medio o aplicando recubrimientos superficiales.

El campo de los recubrimientos superficiales es extremadamente amplio, pero se puede dividir en tres grandes grupos: pinturas especializadas, ánodos de sacrificio y corrientes impresas.

La efectividad de estos recubrimientos vendrá dada por la calidad de preparación de la superficie y de lo cual dependerá la adherencia y la eficacia de la capa protectora.

2.5.1 Protección catódica

La protección catódica es un sistema de protección contra la corrosión muy difundida en el campo naval e industrial; se puede considerar una de las mejores garantías para que los elementos no sufran el efecto de la corrosión. El descubrimiento de este sistema de protección contra la corrosión se le atribuye a Humphry Davy en 1824.

2.5.1.1 Ánodos de sacrificio

Las partes metálicas de las embarcaciones que permanecen constantemente en contacto con el agua sufren corrosión galvánica; las partes más perjudicadas por este tipo de corrosión son el casco, el bronce de la hélice, tapones de fondo, rejillas y válvulas. La forma idónea para evitar la corrosión sería la separación electrolítica, como se hace entre el acero y el aluminio y si no, la colocación de un elemento más débil al ataque electrolítico, en las proximidades de la posible corrosión, por eso se emplean los denominados ánodos de sacrificio.

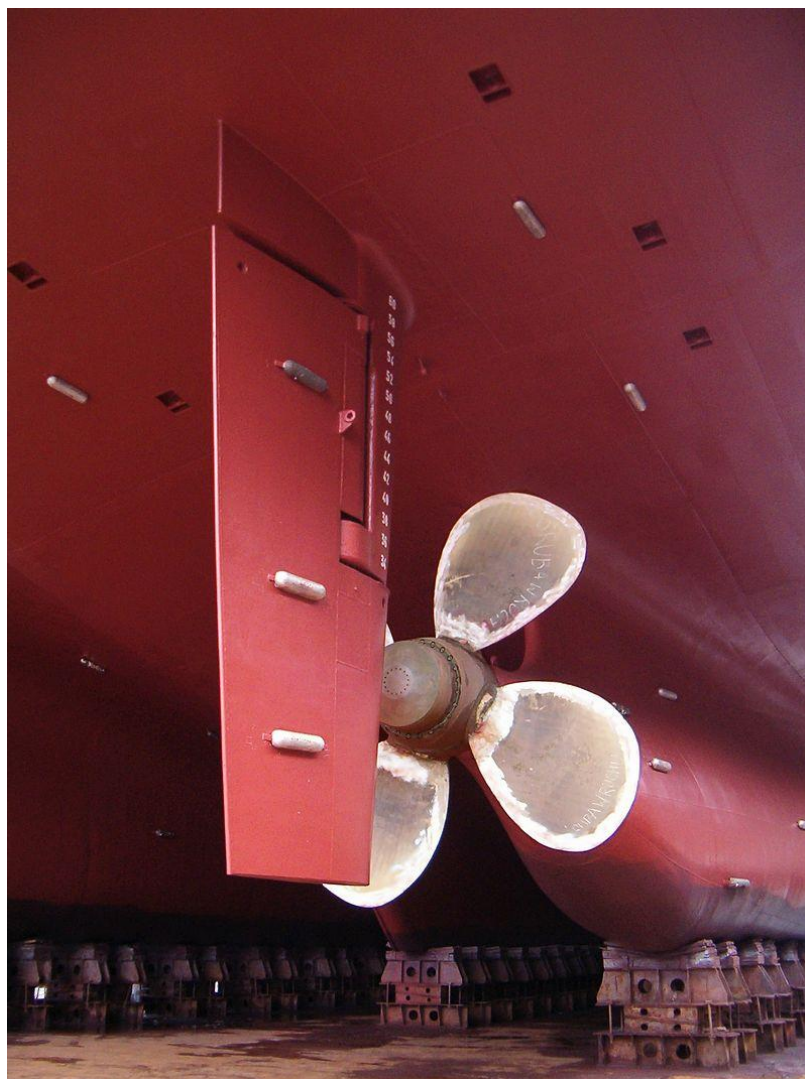


Figura 69. Protección catódica con ánodos de sacrificio en la popa de un buque

[https://es.wikipedia.org/wiki/Protecci%C3%B3n_cat%C3%B3dica#/media/File:Brosen_propelersterntychy.jpg]

Los ánodos de sacrificio son elementos con un potencial menor que se suelen situar en contacto directo con el metal que se desea proteger, provocando de esta forma que la corrosión aparezca en los ánodos de sacrificio y no en el otro metal. El cátodo es el electrodo donde tiene lugar la reacción de reducción y la corrosión no aparece en esta zona.

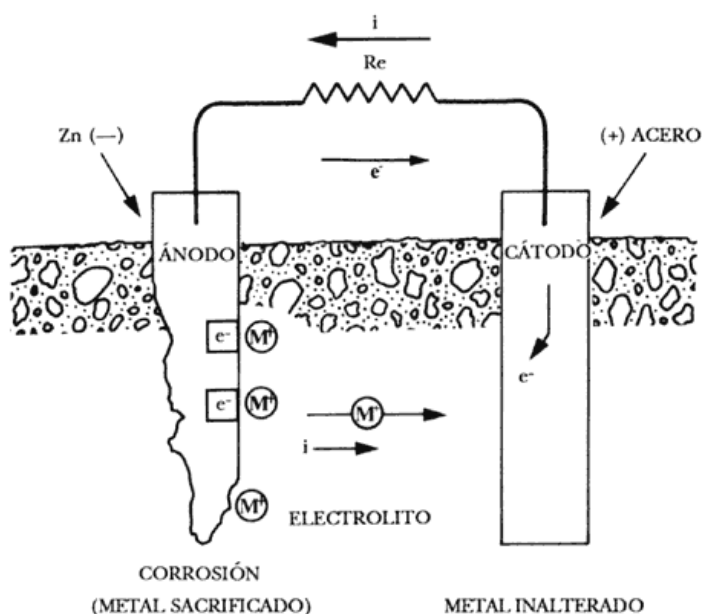


Figura 70. Mecanismo de protección catódica con ánodo de sacrificio

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_7.htm]

Como condición fundamental las estructuras componentes del objeto a proteger y del elemento de sacrificio deben mantenerse en contacto con un electrolito.

Un metal tendrá carácter anódico respecto a otro si posee mayor electronegatividad que éste; en la Tabla 18 se muestra una serie electroquímica de algunos metales:

Tabla 16. Serie electroquímica de los metales

[<http://blog.utp.edu.co/metalografia/9-principios-de-corrosion/>]

Iones en solución	Potencial (v)
Li+	-3022
Rb+	-2924
K+	-2925
Ca++	-2,87
Na++	-2715
Mg++	-1866
Al+++	-1,67
Zn++	-0,762
Cr++	-0,71
Fe++	-0,441
Cd++	-0,397
Ti++	-0,336
Co++	-0,29
Ni++	-0,22
Sn++	-0,136
Pb++	-0,129
H+	0
Bi+++	0,226
Cu++	0,344
Te++++	0,588
Hg++	0,798
Ag+	0,799
Pt++	1,2
Au+++	1,12

Los ánodos de sacrificio deben cumplir una serie de características para que puedan ser implantados; estas características se citan a continuación:

- Deben tener un potencial de disolución lo suficientemente negativo como para polarizar el metal que desea proteger.

- El material debe tener un elevado rendimiento eléctrico, expresado en Ah/kg

- El ánodo deberá corroerse uniformemente.

- El metal debe ser económico, de fácil adquisición y deberá poder fundirse en diferentes formas y tamaños.

Debido a las características anteriormente citadas, se llega a la conclusión de que los ánodos más empleados son los de zinc (Zn), magnesio (Mg) y aluminio (Al). El zinc es uno de los más empleados por su gran poder anódico, por ser abundante y barato; la ventaja más sobresaliente es su simplicidad, el inconveniente es que hay que renovarlo. En la Tabla 17 se presentan las características físicas y electroquímicas de los materiales citados anteriormente:

Tabla 17. Características físicas y electroquímicas del zinc, magnesio y aluminio
 [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_7.htmTaba]

Propiedades	Mg	Zn	Al
Peso atómico (g)	24,32	65,38	26,97
Peso específico a 20°C (g/cm ³)	1,74	7,14	2,7
Punto fusión (°C)	651	419,4	660,1
Resistividad eléctrica (Ω-cm)	4,46*10 ⁻⁶	6*10 ⁻⁶	2,62*10 ⁻⁶
Valencia	2	2	3
Equivalente-gramo	12,16	32,69	9
Equivalente electroquímico (mg/C)	0,12601	0,3387	0,0931
Capacidad eléctrica teórica (Ah/kg)	2204	820	2982
Capacidad eléctrica teórica (Ah/dm ³)	3836	5855	8051
Capacidad eléctrica práctica (Ah/kg)	1322	738	1491
Rendimiento corriente (%)	60	90	50
Consumo teórico (kg/A*año)	3,98	10,69	2,94
Consumo teórico (dm ³ /A*año)	2,3	1,5	1,1
Potencial normal a 25°C (V vs Ag/AgCl)	-2,63	-1,05	-1,93
Potencial disolución en agua de mar (V vs Ag/AgCl)	-1,55	-1,05	-1,85

La composición química de los ánodos de sacrificio incide en el comportamiento de ellos y particularmente sobre las propiedades que las caracterizan:

- Potencial de disolución.
- Rendimiento de corriente.
- Polarización.
- Homogeneidad de la corrosión anódica.

Asimismo, la composición química ejerce influencia sobre las propiedades del producto de corrosión como¹³:

- Porosidad.
- Adherencia.
- Dureza.
- Conductividad eléctrica.

La densidad de corriente eléctrica necesaria para dar a la superficie a proteger un potencial suficiente en el buque de los cascos oscila en 10-30 mA/m².

Las principales ventajas de este sistema anticorrosivo son su facilidad a la hora de instalarlo, no es necesaria ninguna fuente d corriente continua, no provoca problemas de interferencia y tienen un bajo coste de mantenimiento. Por el contrario, como inconvenientes tiene que la corriente suministrada es limitadas y tiene un coste inicial elevado

2.5.1.2 Corrientes impresas

Este tipo de protección es muy efectiva, pero en la construcción naval solo se emplea durante la construcción del buque en el astillero, una vez que el buque ha

¹³ http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf

sido botado se emplean pinturas marinas o ánodos de sacrificio; por lo que las corrientes impresas son menos importantes en la construcción naval.

Se utiliza la corriente suministrada por una fuente continua para imprimir la corriente necesaria para la protección de una estructura. El procedimiento de las corrientes impresas consisten en unir eléctricamente la estructura que se trata de proteger con el polo negativo de una fuente de alimentación de corriente continua y el positivo con un electrodo auxiliar que cierre el circuito.

Este sistema de protección tiene la característica de que utiliza como ánodo dispersor de la corriente (electrodo auxiliar) materiales metálicos que se consumen con el paso de la corriente.

Los ánodos deben cumplir una serie de propiedades para que puedan ser aplicados, entre estas propiedades destacan que deben tener un consumo bajo, ser pequeños, baja resistividad, buena resistencia mecánicas y un elevado potencial de ruptura.

Para las corrientes impresas los electrodos utilizados son:

-Chatarra de hierro: debido a su bajo precio es empleado como electrodo dispersor de corriente. Su consumo es de 9 kg/Am*Año.

-Ferrosilicio: ánodo recomendable en terrenos de media y baja resistividad. Su consumo oscila entre 0,5 y 0,9 kg/Am*Año.

-Grafito: se emplea principalmente para lugares con una resistividad media. Es frágil. Su desgaste está entre 0,5 y 1 kg/Am*Año.

-Titanio: este material es el más interesante para aplicaciones navales. Su consumo es de 0,01 kg/Am*Año

A la hora de elegir un ánodo hay que tener en cuenta sus propiedades de resistencia mecánicas, resistencia a la erosión, su facilidad de instalación y su disponibilidad en el mercado.

Las ventajas de las corrientes impresas son que se pueden diseñar un amplio intervalo de potencial y corriente, se puede emplear en lugares con una elevada resistividad y es muy eficaz a la hora de proteger superficies no cubiertas o que han sido mal cubiertas. Los inconvenientes del empleo de corrientes impresas es que pueden causar problemas de interferencia, es necesario una inspección periódica, requiere una fuente de corriente continua y su coste inicial es elevado.

Otra gran ventaja de este método es la posibilidad de proteger una gran superficie con un solo ánodo. Por otra parte, tanto la diferencia de potencial como la corriente suministrada son variables, es decir, el sistema presenta una gran flexibilidad operacional.

Este tipo de sistemas anticorrosivos debe ser proyectado con cuidado para no causar problemas de corrientes parásitas, las cuales puedan provocar la corrosión de estructuras vecinas.

2.5.3 Recubrimientos orgánicos. Pinturas.

En la construcción naval para evitar la corrosión de las grandes partes de los buques se emplean pinturas especialidad, debido a ser el sistema de prevención de la corrosión más económico.

Las pinturas empleadas en la obra viva deben de protegerse contra las incrustaciones y ser anticorrosivas. Deben de secarse en un plazo no superior a 24 horas.

Las empleadas en la obra muerta deben de tener la tenacidad para no agrietarse entre temperaturas de -40° y $+50^{\circ}$ C y no descomponerse por la acción del sol y otros agentes atmosféricos, ser lavables incluso con detergentes y tener muy alto su punto de inflamabilidad.

Las pinturas para la sala de máquina podrán soportar la acción del agua caliente y vapor, fuel y gasoil y no descomponerse con temperaturas de 150° C.

Para que en la parte exterior del casco, la pintura haga el efecto deseado, la superficie de la plancha tiene que estar chorreada por máquina con granalla a una presión de 8 kg/cm².

Una vez la plancha chorreada, se le da una mano de pintura anticorrosiva, plancha completamente seca, para evitar problemas de adherencias.

Las pinturas exteriores, son pinturas al aceite, compuestas por aceites vegetales o sintéticos. Las pinturas interiores son barnices compuestos por resinas sintéticas. La capa o capas de la obra viva, deben ser delgadas para asegurar la adherencia, que es lo fundamental de la misma; porque el espesor que se especifica debe darse a base de capas delgadas y no de cantidad.

Después de las capas anticorrosivas, se dan las antioxidantes y antiincrustante, esta última se da cuando el buque va a ser botado o flotado (grada o dique), para que no se pudra.

Las pinturas se dan con brochas y rodillos, en la obra viva con estos últimos y en todas las zonas que la superficie metálica lo admita, porque se ahorra hasta un 20% de pintura. También modernamente se pinta a través de una tobera de spray.

Antes de pintar cualquier superficie se ha de comprobar que no sufre ninguna anomalía y que ha sido preparado correctamente para su posterior pintado. Antes de pintar deberemos en cuenta: las anomalías de la superficie y el espesor de la capa de pintura anterior.

Las anomalías en la formación de película de la capa a repintar pueden dificultar la adherencia y las correctas propiedades de la nueva capa de pintura. Estas anomalías son: pulverizado, exudación/transpiración y zonas sin pintar y poros.

El pulverizado actúa de manera similar al polvo, impidiendo la adherencia, lo que da lugar a desprendimientos y a la corrosión de forma prematura. Tendremos que raspar y limpiar el pulverizado antes de realizar cualquier otra actividad.

La exudación/transpiración es la separación de los sólidos del producto y otro material en la superficie del recubrimiento aplicado. La consecuencia es una pérdida de adherencia de la capa que se va a aplicar y los consiguientes desprendimientos.

Por último, nos podemos encontrar con zonas sin pintar o con poros; esto provoca la falta de espesor de la película seca. Los poros tienen otro inconveniente, pueden abrirse paso a través de capas posteriores. Antes de dar alguna capa del nuevo recubrimiento se deben tapar las zonas que se encuentren sin pintura.

Las variaciones en el espesor de las películas también pueden afectar a las propiedades de protección y secado del nuevo recubrimiento. Nos podemos encontrar con aspersores de película demasiado bajos o, por el contrario, películas con espesores demasiado altos.

2.5.3.1 Pinturas antiincrustantes

Las pinturas antiincrustantes, también denominadas pinturas antifouling, son un revestimiento especial que se aplica en los cascos de los buques para retardar la aparición de microorganismos que puedan reducir la velocidad de éste y retardar la aparición de la corrosión, cuando ha sido aplicada sobre las capas de imprimación y pinturas epoxi necesarias.

A lo largo de los años las incrustaciones en los cascos de los buques han sido un problema debido a que provocaban un aumento en el consumo de combustible además de reducir la velocidad del barco. Se tiene constancia de que los fenicios comenzaron a proteger sus embarcaciones de madera con revestimientos de cobre, estos revestimientos se emplearon aproximadamente hasta el siglo XVIII. Alrededor de 1950 comienzan a aparecer las primeras pinturas antiincrustantes modernas, pero estas contenían en su composición química mercurio, arsénico y TBT; todos ellos elementos que contaminaban en gran medida el medio marino. El uso del TBT se expandió rápidamente al tratarse de un producto eficaz contra las algas, ya que ningún otro producto podía atacar estos organismos; además, el TBT, era un producto económico. Con el tiempo se descubrió que tenía efectos muy

perjudiciales: se detectaron grandes cantidades de este material en puertos atacando a moluscos y crustáceos, lo que provocó que la Organización Marítima Internacional (<http://www.imo.org/>) los prohibiese en el 2003 de forma definitiva; anteriormente se había reducido el uso de las pinturas antiincrustantes a embarcaciones de recreo con esloras inferiores a 25 m. Por lo tanto, las pinturas antiincrustantes tuvieron la necesidad de experimentar un desarrollo que siguiese protegiendo el casco de los buques de los microorganismos y, a la vez, que no fuesen perjudiciales para el medio.

En la composición química de las pinturas antiincrustantes empleadas en la actualidad se encuentran biocidas y repelentes de origen mineral, orgánicos y naturales. Las pinturas antiincrustantes más empleadas son las que llevan en su composición pigmentos activos inorgánicos, destacando el óxido cuproso y diferentes pigmentos metálicos; los derivados del cobre son los pigmentos inorgánicos más empleados porque han pasado diferentes exámenes ecológicos exigidos por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos. Otros metales que son empleados con frecuencia en las pinturas antiincrustantes son el zinc y el aluminio, aunque tienen un uso más extendido en agua dulce. El óxido cuproso (Cu_2O) es el biocida más empleado debido a que ha demostrado su eficacia en todos los organismos presentes en el agua de mar, con la excepción de las algas.¹⁴

El método de funcionamiento de las pinturas antiincrustantes consiste en una liberación controlada y constante de los biocidas, por ejemplo del cobre, de la superficie de la pintura a la capa microscópica de agua que rodea el casco. Es esta capa de biocida la que impide la incrustación de los microorganismos.

¹⁴ Darrigran y Damborenea. *"Bio-invasión del mejillón dorado en el continente americano"*. Edulp, La plata, 2006.

2.5.3.2 Calidad de la pintura

Para conseguir el objetivo de una buena capa de pintura protectora y del retardo de la aparición del óxido, deben buscarse las pinturas de mejor calidad y aplicar correctamente la secuencia de las capas de pintura.

Si la pintura que haya ya en el metal es incompatible con el sistema de recubrimiento que vamos a aplicar, los restos de la primera capa deben ser eliminados por completo.

Una vez que procedamos a pintar la superficie hay otra serie de características que debemos tener en cuenta, respecto a la pintura:

- Temperatura de la pintura
- Diluyente de la pintura
- Tipo de catalizador
- Cantidad de pintura que se ha de aplicar
- Espesor de la película húmeda y espesor de la película seca
- Vida útil de la pintura

A continuación se desarrollan brevemente las precauciones que hay que tener respecto a estas características.

Antes de aplicar la pintura es importante comprobar la temperatura de ésta, ya que una temperatura alta durante la aplicación puede provocar la pulverización seca, una película de recubrimiento y una oxidación precipitada. Por el contrario, si la temperatura de la pintura es demasiado baja nos encontramos con una alta viscosidad, lo que dificulta la adecuada agitación de la impura y hace imposible su correcta atomización. La temperatura óptima para cualquier pintura es de 15-25°C. Si nos encontramos en este rango de temperaturas, las capas de pintura que apliquemos tendrán un correcto espesor. En concreto, deberemos tener cuidado con las pinturas sin disolvente ya que tienen una vida de mezcla muy corta. A

temperaturas altas, superiores a 25°C, tal vez haya que enfriar la pintura en un contenedor refrigerado antes del proceso de aplicación.

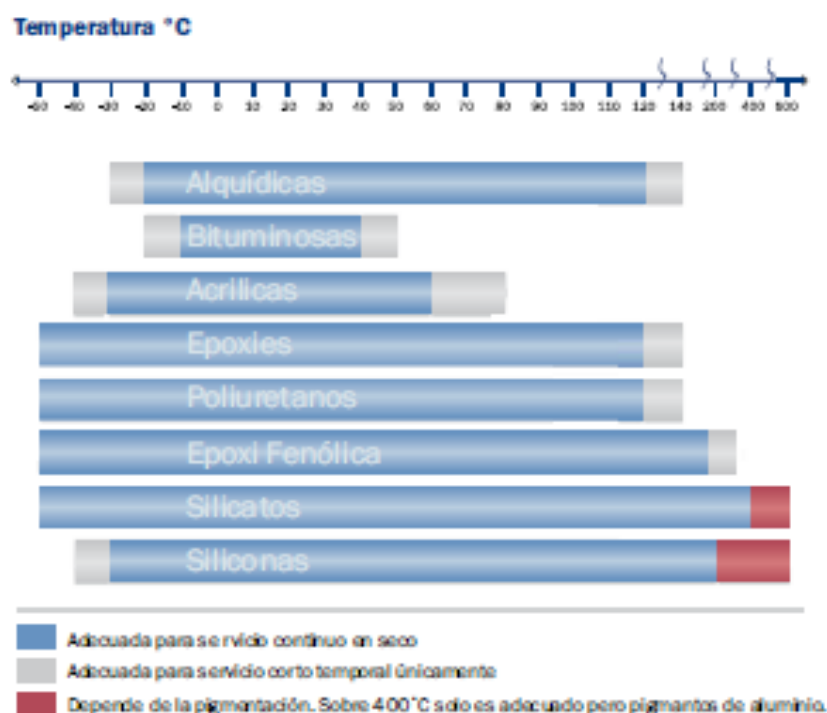


Figura 71. Gráfico con las temperaturas máximas que pueden soportar las pinturas marinas

[Catálogo de pinturas marinas Hempel. 2013]

Cuando se suministra la pintura, ésta ya contiene los tipos y cantidad de disolventes necesarios que garantizan una evaporación adecuada y la formación de la película. En ocasiones, se requiere mayor dilución, un diluyente incorrecto puede producir un secado lento, retención de disolvente y separación de las fases de la capa aplicada durante el secado. Si el secado es más lento de lo que debería y si se produce una separación de fases se dificultará la formación de la película y se reducirá la adherencia de las capas adicionales que se vayan a aplicar. Es muy importante no utilizar pinturas diluidas con un diluyente incorrecto y que muestre gelificación o coagulación. En este caso tampoco se debe de intentar diluir con el diluyente correcto.

El agente de curado o catalizador y la base, en pinturas de dos componentes, reaccionan químicamente para formar la película de pintura y conferirle sus

propiedades prediseñadas. En catalizador debe ser el correcto, el que se nos proporcione con la base, y añadirse en la proporción correcta. Ambos componentes deben mezclarse correctamente.

Si se añade más catalizador del indicado y /o se realiza mal la mezcla la pintura no curará, por lo que se reducirá la resistencia al agua o a productos químicos y esto provocará la caída de capas posteriores.

Cuando la dilución se queda corta, aparece el fenómeno de “fingering” durante la aplicación y un flujo deficiente de la película de pintura debido a la alta viscosidad.

Por otra parte, es necesario saber la cantidad de pintura de la que se dispone por dos motivos principales:

- Si no disponemos de la cantidad de pintura suficiente, el espesor de la película no podrá conseguirse y, ésta, no se mantendrá.

- Para establecer el consumo de pintura del trabajo y así poder acordar el consumo requerido.

Antes de iniciar cualquier proceso de pintar, se debe saber de antemano cual es el espesor que debe tener la película seca. Una vez obtenida la película de pintura se ha secado deber realizarse varias medidas para comprobar que la película tiene las micras necesarias.

El espesor de la película húmeda está directamente relacionado con el espesor de película seca. Es decir, un espesor de película húmeda bajo es un espesor de película seca bajo (inferior a lo especificado) y un espesor de película húmeda alto nos dará como resultado un espesor de película seca alto.

Cuando la capa es demasiado baja, se podrá solucionar añadiendo una capa más de la pintura. Es importante asegurarse de que esta capa extra no tenga poros.

Cuando la capa es demasiado alta nos encontraremos con problemas de cohesión, por lo que tendremos que realizar un chorreado y una nueva capa de pintura.

Cuando las pinturas “envejecen” pueden darse casos de sedimentación o cambios químicos, como la gelificación. Los cambios físicos, podrían solucionarse agitando fuertemente la pintura, pero si los cambios son químicos esta pintura habrá quedado en desuso. Depende el tipo de pintura, estas tendrán una vida útil u otro. Por ejemplo, si una pintura se encuentra a menos de 25°C su duración será aproximadamente de un año; las pinturas de dos componentes tienen una duración de 3 años y las pinturas de un solo componente podrán almacenarse hasta los 5 años.

En el entorno de servicio es necesaria la intensidad del recubrimiento para asegurarse de que éste permanezca en el sustrato, por lo que serán factores importantes: la adhesión y la cohesión. Tanto una mala adhesión con el sustrato o entre capas y una pobre cohesión dará lugar a la formación de ampollas y desprendimientos del recubrimiento, lo cual reducirá el espesor de película, perjudicando la apariencia estética así como la resistencia química mecánica. Como consecuencia obtendríamos incrustaciones o corrosión prematura y un aspecto no deseable del recubrimiento.

Cuando el recubrimiento presente alguno de estos defectos será necesario eliminar la última capa mediante chorreado abrasivo y aplicar una capa nueva. No sería correcto aplicar capas de pinturas sin haber eliminado la que estuviese en mal estado.

Por otro lado, las anomalías en la formación de la película afectan al aspecto y propiedades protectoras del recubrimiento, estas anomalías son el pulverizado, la piel de naranja y zonas sin pintar o poro. El pulverizado y la piel de naranja dan un aspecto estético deficiente y aumentar la rugosidad, lo que con los antiincrustantes puede causar resistencia de avance e incrustaciones prematuras. Estos dos problemas se solucionarían lijando, eliminando el polvo y pintando de nuevo la zona afectada.

Las zonas sin pintar y poros provocan una insuficiencia local de espesor de película seca, causando de forma prematura formación de ampollas o puntos de corrosión.

Respecto al espesor de la película de pintura, ésta tiene que tener el espesor especificado ya que si es bajo o alto esto puede conllevar a una corrosión prematura del metal o puede favorecer a la aparición de otros defectos.

2.6 Preparación de las superficies antes de recibir un sistema anticorrosivo a base de pinturas

Un paso fundamental antes de la aplicación de cualquier esquema de pintado, es la preparación de la superficie para eliminar la suciedad, óxido, escoria, residuos de pintura, grasas, aceites y otros contaminantes de la superficie, con el propósito de obtener la mayor adherencia del revestimiento o pintura sobre ella.

En el caso de acero, además de eliminar estos elementos contaminantes se debe generar un perfil de rugosidad para promover el anclaje mecánico de la pintura sobre el sustrato.

2.6.1 Normativa

La norma ISO 12944 regula el proceso de limpieza de las superficies metálicas, los tipos de recubrimientos orgánicos y la cantidad que hay que aplicar en cada caso. La ISO es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Su función principales es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional.

2.6.2 Impurezas

En la superficie del material nos podemos encontrar con una serie de impurezas que serán difíciles de eliminar por completo, antes de realizar cualquier

tratamiento sobre la plancha. Estas impurezas son las sales hidrosolubles, las picaduras y los agentes anti-proyecciones.

Las sales hidrosolubles son difíciles de detectar, normalmente aparecen tras una exposición larga del material en ambiente marino. No se pueden eliminar mediante métodos mecánicos, ya que pueden encontrarse incrustadas en la superficie. Si las sales se encuentran debajo de la película de pintura podrían absorber agua a través de ella, por ósmosis, y esto daría lugar a una formación de ampollas y la penetración de sustancias corrosivas. Las sales deben eliminarse mediante una manguera de agua dulce a alta presión o mediante manguerazos mientras se frota con cepillo de cerdas rígidas

Las picaduras es una forma de corrosión que se originan en las imperfecciones y zonas tensionales del material. Estas picaduras, por lo general, pueden contener sales. En el caso de exceso de picaduras, la limpieza con agua debe hacerse durante o después del chorreado seco, seguido de agua a alta presión.

Los agente anti-proyecciones pueden ser incompatibles con el recubrimiento, lo cual provoca fallos de adherencia y formación de ampollas por ósmosis, desprendimientos y aparición de oxidación de forma prematura.

2.6.2.1 Defectos en la superficie

Por otro lado, los metales pueden presentar una serie de defectos tales como las laminaciones, los cantos vivos y las rebabas.

Con el método del chorreado abrasivo no se consigue eliminar ninguno de estos defectos, por lo que habrá que aplicar otros métodos.

La laminación es una excesiva deformación del metal durante el proceso de conformado, por lo que debajo de la superficie se formará una grita con calamina y contaminantes. Las laminaciones deben ser eliminadas siempre que se puede, aunque habrá veces que será necesario soldar de nuevo las planchas. Este defecto

puede aparecer incluso si las planchas están bien laminadas. En estos casos, si aplicamos una pintura esta no penetrará, pero si lo hará el agua lo que provocará una corrosión prematura del material.

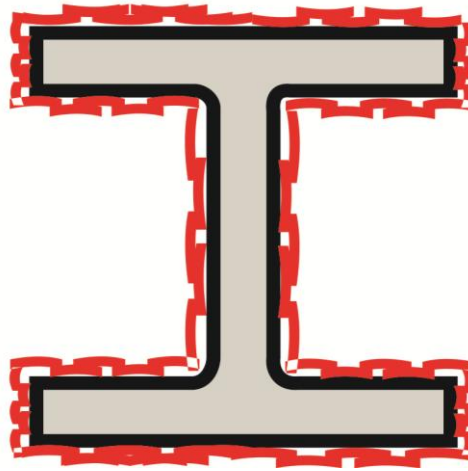


Figura 72. Viga de doble T donde la parte roja representa la laminación del metal

En los lugares donde haya cantos vivos, el espesor de la película de pintura será menor, y esto conllevará a una corrosión prematura. Los cantos vivos pueden deberse a herramientas de corte que no hayan tenido un correcto mantenimiento; podremos solucionar este problema mediante el redondeo de la zona afectada mediante el mecanismo de amolado.

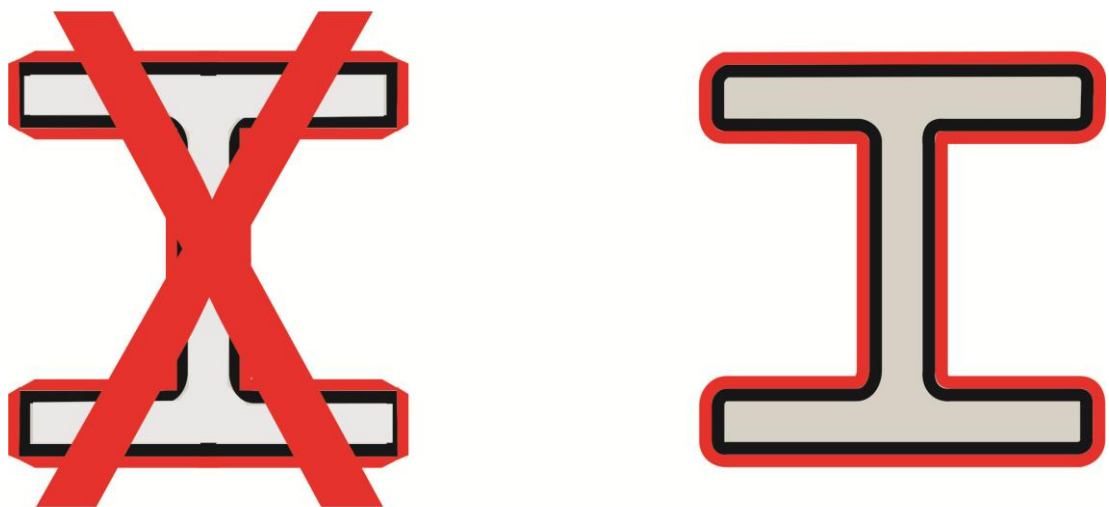


Figura 73. En la izquierda la viga tiene los cantos de 90° y en la derecha los cantos son redondeados

En la zona del material en la que nos encontremos con rebabas, al igual que si hay cantos vivos, la capa de pintura que demos será de menor espesor que el requerido, por lo que la corrosión aparecerá de forma prematura. Las rebabas aparecen cuando se ha hecho una mala manipulación de las planchas; para eliminarlas podemos amolar la parte afectada o pueden ser cortadas con una instrumentación correcta.

2.6.2.2 Aceite y grasa

A la hora de preparar un metal para ser pintado, éste puede tener finas películas de grasa y/o aceite. La forma más sencilla de detectar esta película es observando con detenimiento la superficie del metal; la zona afectada presentará, por lo general, un aspecto ligeramente más oscuro que las inmediaciones limpias. También podremos detectarlo mediante el tacto. Para asegurarnos de que nuestro material está contaminado realizaremos la siguiente prueba: con una tiza dibujaremos una línea que pase por una zona limpia, por la zona que creemos afectada por la grasa o aceite y por otra zona limpia; si la línea que pasa por la zona sospechosa disminuye su intensidad y la recupera en la segunda zona limpia, la zona sí estará contaminada; si por el contrario el trazo es firme en toda su longitud, el material estará limpio.

No podremos eliminar la grasa o el aceite mediante métodos mecánicos, ya que estos elementos pueden ser contaminados. Tanto el aceite como la grasa impiden la correcta adherencia de las capas de cualquier recubrimiento que se apliquen.

Para dejar la superficie del material limpiase deberán limpiar las zonas grandes con emulsionantes y luego con una manguera de agua dulce a alta presión.

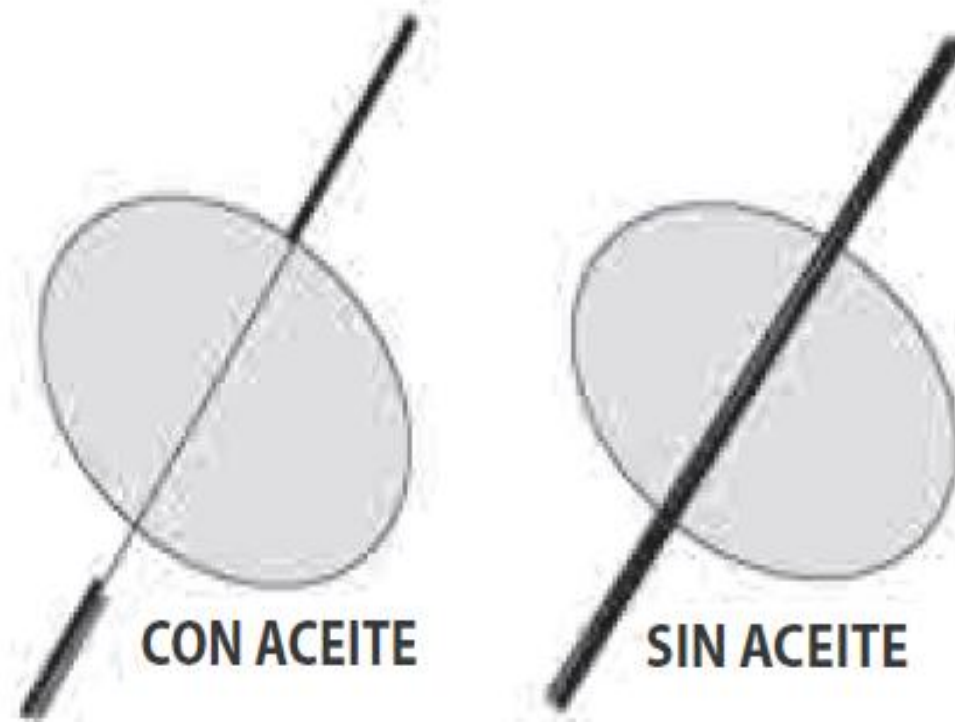


Figura 74. Prueba para comprobar si una superficie está grasa
[Catálogo de pinturas marina Hempel.2013]

2.6.3 Resultado de las superficies

El estado general de la superficie del metal puede alcanzar las especificaciones requeridas: calamina y grado de oxidación.

Tras una limpieza de la superficie, si ésta no se ha hecho de forma correcta, puede aparecer en el metal residuos de calamina. Estos restos forman celdas galvánicas que causan corrosión entre la capa de calamina y el metal. Si se aplicase cualquier recubrimiento antes de eliminar esta capa de calamina, todo se desprendería dejando el material desprotegido contra la corrosión. Utilizaremos el método de chorreado abrasivo para eliminar la calamina y dejar el material ya preparado para recibir las capas de pinturas necesarias.

Tras la preparación de una superficie, si todavía quedasen restos de oxido, éstos deberán ser eliminados porque, al igual que en el apartado anterior, si

aplicamos cualquier recubrimiento antes de que la superficie este perfectamente limpia, la capa de pintura, junto al óxido, se desprenderá dejando al descubierto el metal que queremos proteger. Además, el óxido puede contener sales hidrosolubles y provocar la formación de ampollas en el recubrimiento.

2.6.4 Proceso de chorreado

El chorreado es un proceso por el cual se consigue la limpieza completa de cualquier metal, antes de que éste reciba cualquier tipo de recubrimiento, mediante arena o granallado.

Para realizar este proceso de limpieza debemos tener en cuenta tres factores: la altura, la forma y la densidad de la pieza que se quiere limpiar. En función de esto tres parámetros deberemos utilizar una serie de chorreado u otro.

2.6.4.1 Tipos de abrasivos

Existe una amplia variedad de medios abrasivos de diferentes tamaños para cubrir necesidades específicas. La limpieza abrasiva suele ser elegida para eliminar calaminas resistentes y pinturas, especialmente en superficies amplias pero de difícil acceso con otros métodos.

-Limpieza por chorreado en seco: la limpieza por chorreo seco es probablemente el método más eficiente y eficaz desde el punto de vista medioambiental para la limpieza. Este tipo de chorreado es apropiado para los metales blandos, como el aluminio.

-Limpieza con chorreado por medio húmedo: el chorreado con medio húmedo difiere del chorreo seco en que las partículas abrasivas utilizadas suelen ser mucho más finas y están suspendidas en agua tratada químicamente, formando una especie de lodo. Este compuesto acuoso es bombeado y agitado continuamente para prevenir su solidificación y es impulsado por aire comprimido a través de una o

varias boquillas dirigidas hacia la pieza de trabajo. A diferencia del chorreo seco, el objetivo del chorreo húmedo no es la eliminación basta de calaminas resistentes, rebabas o suciedad sino la producción de efectos relativamente leves sobre la superficie de la pieza de trabajo. Con frecuencia es necesaria una limpieza previa al chorreo para prevenir la contaminación del lodo de recirculación.

-Limpieza por chorreado con hielo seco: se trata de una forma de chorreo abrasivo en la que son propulsadas sobre la superficie a tratar partículas duras de CO₂ helado, por medio de aire o de otros gases. La granalla de CO₂ sirve para eliminar pinturas, grasas y aceites. Algunas piezas pueden ser sensibles a los cambios térmicos que produce la granalla, por lo que se hará necesaria una prueba previa. El hielo seco es muy eficaz en la eliminación de partículas.

2.6.4.2 Chorreado de arena

La tarea de chorreado con arena consiste en proyectar arena mediante una corriente de aire impulsada por un compresor sobre piezas y estructuras metálicas para limpiar la superficie. Este proceso se puede realizar al aire libre o en cabinas especializadas para ellos; pero cuando nos encontremos ante grandes estructuras que se han de chorrear utilizaremos unidades móviles de chorreo. Durante la realización de esta tarea los granos de arena impactan con gran energía en las piezas metálicas eliminando cualquier resto de óxido, suciedad o cualquier otro tipo de restos que se hayan quedado adheridos al metal.

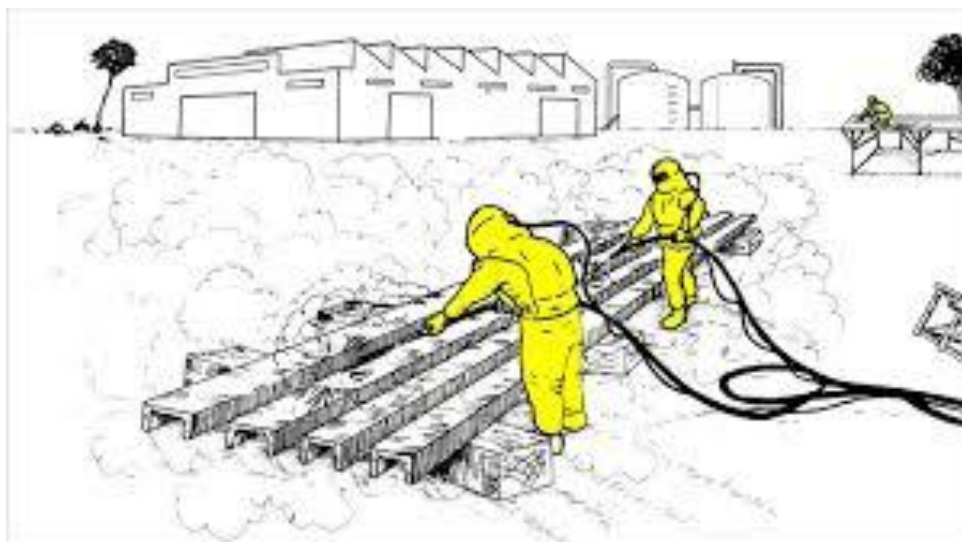


Figura 75. Esquema de proceso de chorreado con arena al aire libre

[<http://stp.insht.es:86/stp/basequim/006-chorreado-con-arena-de-piezas-y-estructuras-met%C3%A1licas-exposici%C3%B3n-s%C3%ADlice-cristalina>]

2.6.4.2.1 Proceso de chorreado con arena

-Chorro ligero: Se elimina la capa de laminación suelta, el óxido suelto y las partículas extrañas sueltas del soporte.

-Chorro minucioso: Se elimina casi toda la capa de laminación, el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar un 66% de la superficie limpia y de color gris.

-Chorro muy minucioso: Se elimina la capa de laminación, casi todo el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar un 95% de la superficie limpia y de color blanco con algunas manchas.

-Chorro hasta metal blanco: Se elimina toda la capa de laminación, el óxido visible y las partículas extrañas del soporte, hasta quedar la totalidad de la superficie limpia y de color blanco.

2.6.4.2.2 Chorreado con granallado

La limpieza de una superficie a través del chorro de granallas puede considerarse como una operación de bombardeo, en que un sinnúmero de partículas abrasivas son lanzadas en alta velocidad contra el objetivo. Mediante este proceso se logra modificar el estado superficial de un material, principalmente es una técnica de tratamiento por impacto consiguiendo un excelente grado de limpieza y decapado, así como una correcta terminación superficial.

Cuando las partículas impactan sobre el metal producen la remoción de los contaminantes de la superficie (pintura, óxido, calaminas, residuos de fundición, rebabas...)



Figura 76. Granalla empleada en el proceso de chorreado con granalla

[http://blastingexperts.com/Web_final/asistencia3.html]

El equipo de granallado necesario estará compuesto principalmente:

- Cámara de granallado.
- Turbinas centrífugas para el lance de abrasivo.
- Sistema de filtración de polvo e impurezas
- Sistema de recirculación y limpieza del abrasivo

2.6.5 Aceptación final de la superficie pintada

En el entorno de servicio es necesario la intensidad del recubrimiento para asegurar de que éste permanezca en el sustrato, por lo que serán factores importantes: la adhesión y la cohesión. Tanto una mala adhesión con el sustrato o entre capas y

una pobre cohesión dará lugar a la formación de ampollas y desprendimientos del recubrimiento, lo cual reducirá el espesor de la película, perjudicando la apariencia estética así como la resistencia química y mecánica. Como consecuencia obtendríamos incrustaciones o corrosión prematura y un aspecto no deseable del recubrimiento.

Cuando el recubrimiento presente alguno de estos defectos será necesario eliminar la última capa mediante chorreada abrasivo y aplicar una capa nueva. No sería correcta aplicar capas de pinturas sin haber eliminado la que estuviese en mal estado.

Por otro lado, las anomalías en la formación de la película afecta la aspecto y propiedades protectores del recubrimiento, estas anomalías son el pulverizado, la piel de naranja y zonas sin pintar o pobres de pinturas.

El pulverizado y la piel de naranja de un aspecto estético deficiente y aumenta la rugosidad, lo que con los antiincrustantes puede causar resistencia de avanzada e incrustaciones prematuras. Estos dos problemas se solucionan lijando, eliminando el polvo pintado de nuevo en la zona afectada.

Las zonas sin pintas y poros provocan una insuficiencia local espesor de la película seca, causando de forma prematura formación de ampollas o puntos de corrosión.

Respecto al espesor de la película de pintura, ésta tiene que tener el espesor especificado y a que es bajo o algo esto puede conllevar a una corrosión prematura del metal o puede favorecer la aparición de otros defectos.

2.7 Equipos de trabajo e inspección empleados durante la aplicación de pinturas marinas

2.7.1 Equipos de trabajo

-Equipo de limpieza mecánica: uno de los tres equipos esenciales para la preparación de cualquier superficie es el equipo de limpieza mecánica, con el cual obtendremos una completa limpieza del material que pintar posteriormente. Entre las partes de este equipo nos encontramos con un separador de agua y aceite e en compresor; en caso de carecer de esta arte, se pueden depositar gotas de aceite sobre la superficie. También dispondremos de cepillos de verdad de alambre para eliminar impurezas que puede contener el material, será importante que las cerdas de los cepillos estén afiladas y rectas. También dispondremos de papel de lija y discos de amolado.



Figura 77. Cepillo de cerdas de alambre empleado en la limpieza de superficies

[https://www.masterdirect.com/store/product_details.php?item_id=59470]

-Equipo de chorros de agua: el equipo de chorreo de agua nos permitirá eliminar resto de óxidos, pinturas y otros materiales contaminantes. Este equipo propulsa agua con gran presión sobre la superficie a limpiar, por eso es fundamental evitar las fugas en este equipo para que el agua llegue con la fuerza necesaria.

-Equipo de aplicación de pintura: el equipo fundamental para aplicar la pintura es un equipo Airless, que consta de una bomba que impulsa la pintura a través de una manguera y sale por la pistola de forma pulverizada. El equipo tiene que estar en perfectas condiciones, ya que si tiene algún defecto puede provocar que la película de pintura tenga un espesor no adecuado.



Figura 78. Equipo Airless

[http://www.sherwin.cl/graco/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=19]

2.7.2 Equipos de inspección

La primera inspección que se ha de realizar en cualquier material será utilizando la vista y el tacto; los instrumentos electrónicos complementan las observaciones realizadas de forma visual.

-Medidor de espesores de película seca aparato electrónico pequeño cuya precisión suele estar entre el 3% y el 5%. Para obtener un resultado correcto

mediante su utilización ha de mantenerse limpio de restos de pinturas o de limaduras de hierro. Las medidas no deben hacerse cerca de los bordes y esquinas.



Figura 79. Medidor de película seca

[<http://www.elcometer.com/es/inspeccin-revestimientos/kits-de-inspeccin/digitales-de-inspeccin/kits-digitales-de-inspeccin-elcometer.html>]

-Medidor de espesores de película húmeda: consiste en una placa metálica con una escala de medidas en micras que se incrusta en la capa de pinturas antes de que esta se haya secado y se observa hasta que profundidad ha penetrado, en función de esto la capa tendrá más o menos micras de profundidad. El medidor ha de ser limpiado después de cada medición, preferiblemente con un trapo humedecido con disolvente.



Figura 80. Medidor película húmeda

[<http://www.twilight.mx/Medidores-de-Espesor/Medidores-de-Espesor-Nordson-DF-NWF.html>]

-Medidor de rugosidad: un medidor de rugosidad sirve, una vez que home chorreado una piedra de metal, para ver si su rugosidad es la correcta. En la actualidad, es un utensilio que se encuentra prácticamente en desuso, debido a que es necesario disponer de gente con formación para su lectura.

-Otros aparatos: otros aparatos de los que se pueden disponer son un psicrómetro oscilador, un termómetro de superficie, papel de pH.

Para realizar medidas más correctas podemos disponer de una lupa, cuchilla, espátula y tizas de marcar.

2.7.2.1 Equipos especiales

Cuando se quieren realizar inspecciones más exactas sobre los procesos de pinturas que se han utilizado se usan aparatos de medida especiales.

-Comprobador de adherencia: este instrumento solo será utilizado si la especificación lo requiere. Antes de utilizarse, el recubrimiento debe estar totalmente seco.

-Comprobador de poros de alta tensión y esponja húmeda: Instrumento utilizado solo en casos en los que el recubrimiento debe de estar desprovisto de poros.

El comprobador detecta los posibles poros que hayan quedado, los cuales deben ser marcados mediante una tiza (sin grasa) y reparados posteriormente. Para ver los poros, el comprobador envía una señal con un voltaje que puede llegar hasta los 15kV, si se aplica un exceso de tensión esto puede estropear en buen estado del recubrimiento.

Capítulo 3-

Metodología

3.1 Introducción

Hoy en día, en aquellos lugares donde hay un ambiente marino es fácil encontrarse varios elementos metálicos que, al haber estado expuestos a un ambiente tan corrosivos han sufrido algún tipo de corrosión, lo que ha provocado su deterioro.

A lo largo de los años se han desarrollado varios tratamientos anticorrosivos, los cuales se han demostrado que son eficaces y retrasan, durante años, la aparición de la corrosión. El problema que presentan estos tratamientos anticorrosivos es que suponen una gran inversión económica inicial.

Con el fin de que esta inversión económica sea menor, en muchas ocasiones se aplican un tratamiento anticorrosivo pero éste no se aplica según manda la normativa vigente. Cuando los sistemas anticorrosivos no se aplican de la forma adecuada, pueden retrasar ligeramente la aparición de la corrosión, pero no la evitarán, por lo que habrá dos consecuencias fundamentales; en primer lugar, los sistemas metálicos se deterioran rápidamente y, en segundo lugar, será necesario aplicar otro sistema anticorrosivo antes de lo previsto.

La construcción naval ha evolucionado desde las primeras barcas de madera hasta los actuales cargueros, pero su mayor evolución ha sido en los últimos años cuando la madera pasó a un segundo plano y se comenzaron a emplear varios sistemas metálicos, tales como: acero, titanio, aluminio y sus aleaciones... También los materiales compuestos han adquirido cierta importancia dentro del mundo naval.

3.2 Materiales

En el presente Trabajo Fin de Grado, los materiales que se estudiarán son acero de construcción naval y una aleación de aluminio.

El motivo de que haya decidido estudiar solo estos dos materiales es que, actualmente, son los materiales metálicos más empleados en la construcción naval.

El acero de construcción naval es el material más importante porque se emplea en los grandes buques (cargueros, petroleros, gaseros...) y el aluminio es el segundo elemento más empleado, siendo su utilización principal para barcos más pequeños, dedicados casi exclusivamente a embarcaciones de recreo.

En los apartados siguientes se detallarán las propiedades de estos dos elementos citados anteriormente y se mostrarán figuras de las probetas empleadas en el Trabajo Fin de Grado.

3.2.1 Acero de construcción naval

Como ya se dijo anteriormente, el material más empleado en construcción naval es el acero; aunque se emplean varias categorías en la construcción de buques, en este Trabajo Fin de Grado se ha estudiado el comportamiento ante la corrosión de nueve probetas de acero AH36, las cuales han sido facilitadas por Astander, Astilleros de Santander S.A.- Cantabria (<http://www.astander.es>).

La composición química de este acero se presenta en la Tabla 18:

Tabla 18. Composición química del acero de construcción naval AH36

[<http://www.astander.es/>]

AH 36 (% peso)	
C max	0,18
Si max	0,5
Mn	0,90-1,60
P max	0,035
S max	0,035
Al min	0,015
Ti max	0,02
Cu max	0,35
Cr max	0,2
Ni max	0,4
Mo max	0
Nb	0,02-0,05
V	0,05-0,10

Las probetas utilizadas en este proyecto tienen unas dimensiones de 100mm de largo x 20 mm de ancho x 10mm de altura. En la Figura 81 se muestra una de las probetas empleadas:



Figura 81. Probeta de acero de construcción naval AH36

3.2.2 Aleación base aluminio

El aluminio es otro de los elementos metálicos más importantes en la construcción naval moderna y, como pasa con el acero, hay varios tipos de aluminio que se pueden emplear dependiendo de las necesidades que se necesiten cubrir.

En este proyecto estudiaremos cómo la corrosión ataca a una placa de aluminio 5083, con un espesor de 6 mm. Esta chapa de aluminio ha sido facilitada por Metaltec Naval (Polígono Industrial de Raos, Maliaño, Cantabria) (<http://www.metaltecnica.com/>)

La composición química de este aluminio se presenta en la Tabla 19:

Tabla 19. Composición química del aluminio 5083

[<http://www.metaltecnica.com/>]

	Min (% peso)	Max (% peso)
Si	-	0,4
Fe	-	0,4
Cu	-	0,1
Mn	0,4	1
Mg	4	4,9
Cr	0,05	0,25
Zn	-	0,25
Ti	-	0,15
Otros	-	0,15
Al		Resto

En la Figura 82, se muestra la probeta de aluminio estudiada:



Figura 82. Probeta de aluminio 5083 empleado en el estudio de la corrosión

3.3 Sistema de pintura aplicado

En este proyecto se emplearán tres tipos de pinturas marinas especializadas, las cuales se citan a continuación:

- Imprimación fosfatante de zinc de la casa Bernardo Ecenarro
- Pintura epoxi 2 componentes semi-brillo de la casa BESA
- Pintura anti-incrustante multiusos de la casa International

Estas pinturas tienen unas características determinadas que hacen que sean idóneas para el uso en materiales que van a estar expuestos a ambientes salinos. A continuación se presentan las características de cada una de las pinturas:

Tabla 20. Propiedades físicas de la imprimación epoxi fosfato de zinc

[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

Densidad a 20°C	1,64
Finura de molienda	15-25 my
Viscosidad de suministro a 20°C	80-90 KU (Stormer)
Materia no volátil	68% peso; 445% vol (mezcla con catalizador)
V.O.C (2004/42/CE) IBB (C) (540)	514 gr/l
Tipo de producto	Epoxi-Poliamida
Color	Beige 1111

Tabla 21. Propiedades de la película seca de la imprimación epoxi fosfato de zinc
[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

Rendimiento teórico	8-9 m ² /l (5 my)
Brillo 60º-60º	Mate-Satinado 5-10%
Repintabilidad	30-60 min

Tabla 22. Propiedades físicas de la pintura epoxi de dos componentes
[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

Densidad a 20°C	1,40-1,65
Finura de molienda	35-40
Viscosidad de suministro a 20°C	75-85 KU (Stormer)
Materia no volátil	67-72% peso; 50-53% vol.
V.O.C (2004/42/CE) IBB (C) (540)	496
Tipo de producto	Epoxi-Poliamida
Color	URKI-SYSTEM

Tabla 23. Propiedades de la película seca de la pintura epoxi de dos componentes

[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

Rendimiento teórico	7-7,5 (70 my)
Brillo 60º-60º	60-90%
Repintabilidad	24 h

Tabla 24. Propiedades físicas de la pintura antiincrustante

[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

Color	YBB811 - Azul
Acabado	Mate
Densidad	1,69
Sólidos en volumen	60%
VOC	351 g/l

Tabla 25. Información sobre el tiempo de secado y pintado de la pintura antiincrustante

[Pinturas Bernardo Ecenarro www.bernardoecenarro.com]

	5°C	15°C	23°C	35°C
Seco al tacto	1 hora	45 minutos	30 minutos	20 minutos
Inmersión	24 horas	10 horas	4 horas	4 horas

La pintura antiincrustante empleada en este estudio de la corrosión está compuesta por colofonia, zineb y óxido cuproso.

Estas pinturas han sido facilitadas por las empresas Palacios Pinturas S.L. y CG Servicios Portuarios, ambas sitas en el Polígono Industrial de Raos en Maliaño (Cantabria, España).

La normativa vigente que regula el proceso de limpieza de las superficies metálicas, los tipos de pintura que hay que aplicar, las capas de pintura necesarias en cada caso y otros ámbitos relacionados con la prevención de la corrosión mediante pinturas es la UNE-ISO 12944 de 1998 (<http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp>).

El sistema de pintado que se ha aplicado en cada una de las probetas, tanto las de acero como la de aluminio, es diferente; estos se explicarán detalladamente en los siguientes apartados.

3.3.1 Acero de construcción naval

En primer lugar, todas las probetas de acero de construcción naval son sumergidas en agua de mar sin haber recibido ningún tipo de tratamiento anticorrosivo; de esta forma las probetas comenzarán un proceso natural de corrosión. Este periodo durará 1 mes.

Pasado el mes todas las probetas son retiradas del agua de mar y se agruparán en 6 grupos diferentes, siendo estos grupos: A, B, C, D, E y F. En la Tabla 26 se muestra un esquema de que tratamiento ha recibido cada probeta objeto del estudio:

Tabla 26. Esquema de los diferentes sistemas de pintado aplicados en las probetas

GRUPO	TIPO DE PINTADO
A	Aplicación correcta del protocolo establecido
B	B1- primera mitad de la pieza: aplicación correcta del protocolo establecido
	B2-segunda mitad de la pieza: aplicación incorrecta del protocolo establecido
C	Precedentes de corrosión pero sin aplicación de ningún sistema de pintado
D	Aplicación incorrecta del protocolo establecido
E	Pieza sin limpiar e incorrecta aplicación del protocolo establecido
F	Aplicación correcta del protocolo establecido y capa pintura antiincrustante

Cuando todas las piezas han sido pintadas son sumergidas nuevamente en agua de mar y se dejarán sumergidas durante 7 meses para comprobar estudiar en qué grado son afectada por la corrosión marina y, en caso de que sean atacadas, estudiar el tipo de corrosión que presentan.

En Tabla 27 se presenta el sistema de pintura para aceros al carbono de baja aleación:

Tabla 27. Sistema de pintura para aceros al carbono de baja aleación para categorías de corrosividad

[UNE-EN ISO 12944-1 Pinturas y barnices: Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores]

Sustrato: Acero al carbono de baja aleación																																					
Preparación de la superficie: Para Sa 2½, sólo de grados de oxidación A, B o C (Véase la Norma ISO 8501-1)																																					
Nº Sistema	Capa(s) de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura	Durabilidad esperada (véase el apartado 5.5 y la Norma ISO 12944-1)																Sistema de pintura correspondiente en la tabla														
	Ligante ^d	Tipo de imprimación ^a	No. de capas	ENFS ^b µm	Ligante	No. de capas	ENFS ^b µm	C2				C3				C4				CS-I									CS-M								
								L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	A.2	A.3	A.4	A.5 (I)	A.5 (M)							
A1.01	AK, AY	Misc.	1-2	100	—	1-2	100																														
A1.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	—	1	60																														
A1.03	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-3	120																														
A1.04	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-4	160																														
A1.05	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-5	200																														
A1.06	EP	Misc.	1	160	AY	2	200																														
A1.07	AK, AY, CR ^e , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	2-4	160																														
A1.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	AY, CR, PVC	2-3	160																														
A1.09	AK, AY, CR ^e , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	200																														
A1.10	EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC	3-4	200																														
A1.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	AY, CR, PVC	2-4	200																														
A1.12	AK, AY, CR ^e , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	240																														
A1.13	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	AY, CR, PVC	3-4	240																														
A1.14	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	AY, CR, PVC	4-5	320																														
A1.15	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120																														
A1.16	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-4	160																														
A1.17	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	EP, PUR	2-3	160																														
A1.18	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	200																														
A1.19	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60*	EP, PUR	3-4	200																														

En la Figura 83 siguiente se recoge un resumen de cómo ha sido limpiada cada probeta y del tratamiento que ha recibido.

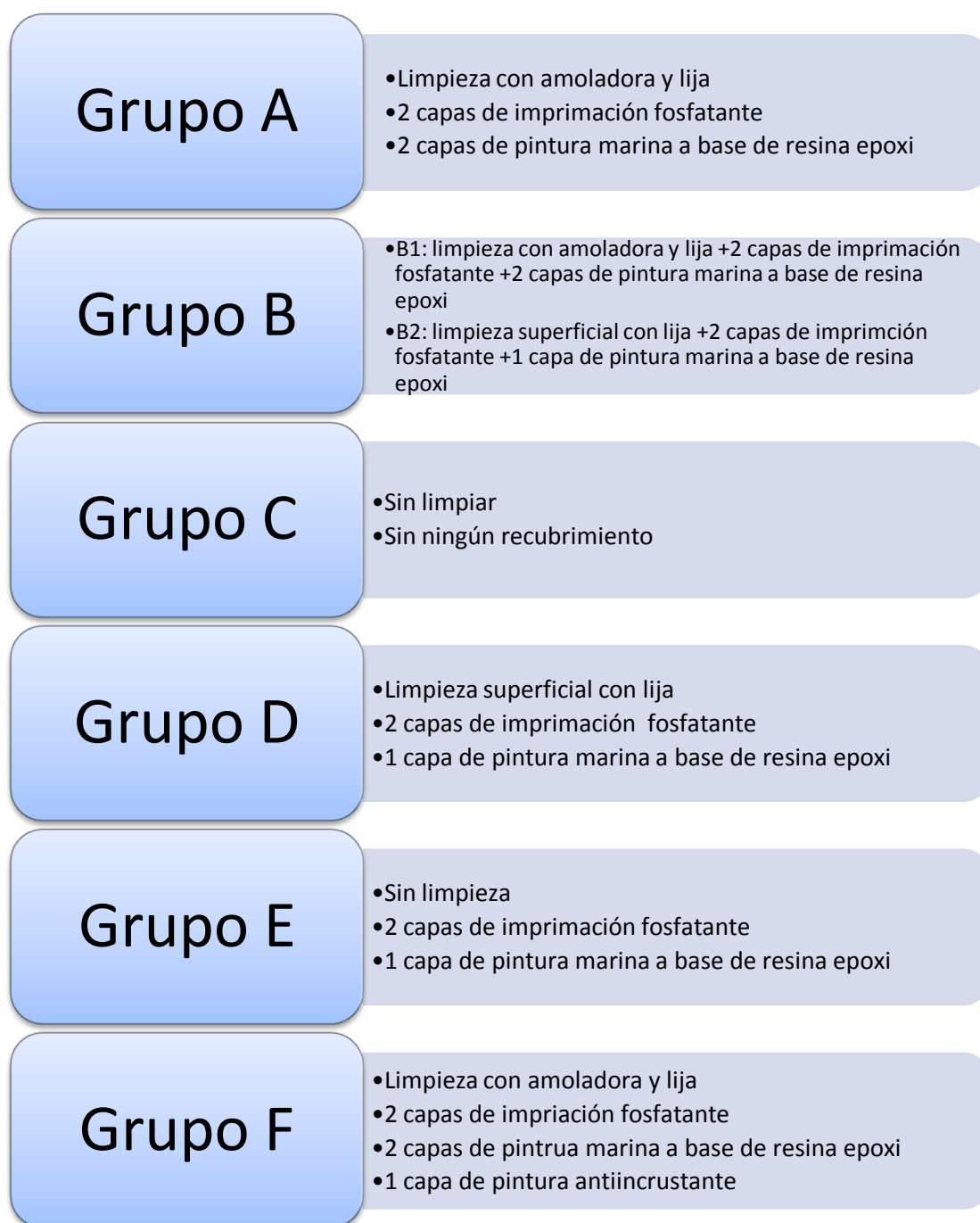


Figura 83. Resumen del proceso de limpieza y el proceso de pintado de las probetas de acero de construcción naval

A continuación, se detalla más en profundidad los diferentes sistemas de pintado aplicados en cada probeta.



Figura 84. Probetas durante el proceso de pintado

3.3.1.1 Grupo A

Las primeras probetas se limpiarán de forma correcta según manda la normativa UNE-EN ISO 12944; su proceso de limpieza se realizará con una amoladora para poder retirar todos los restos de óxido que se encuentren en la pieza.

Posteriormente, estas piezas recibirán la primera capa de imprimación epoxi con una pistola aerográfica; de esta forma conseguimos que la capa de pintura sea uniforme por toda la pieza y tenga las micras necesarias. La primera capa se dejará secar durante 24 horas.

A continuación, se le aplicará la segunda capa de imprimación epoxi tal y como se aplicó la primera. Se dejará secar durante otras 24 horas.

Por último, se aplica la capa de pintura a base de resinas epoxi. Esta última capa se aplicará también con una pistola aerográfica.

Es importante que las esquinas de las piezas tengan las mismas micras, es decir un total de 256, de pinturas que el resto de la pieza para evitar que la corrosión ataque por estas zonas críticas.



Figura 85. Probeta del Grupo A

3.3.1.2 Grupo B

En el Grupo B, la pieza se pintará la mitad recibiendo un correcto tratamiento de limpieza y pintado y la otra mitad se pintará sin seguir el protocolo necesario para los materiales que se encuentran en medios marinos.

La primera mitad, que a partir de ahora denominaremos B₁ será limpiada con una amoladora para retirar todo el óxido que contenga la pieza y recibirá una primera capa de imprimación epoxi mediante una pistola aerográfica.

Tras esperar 24 horas a que esta primera capa se haya secado por completo, se aplica la segunda capa con las mismas características que la primera. La última capa, es una pintura a base de resinas epoxi que también se aplica con una pistola aerográfica para que la pintura tenga la porosidad necesaria y su distribución por la pieza sea lo más uniforme posible.

La otra mitad de la pieza, denominada B₂ sufrirá una limpieza con un cepillo de acero, por lo que no será retirado todo el óxido, sino lo superficial. Llevará tres capas de pinturas, como la mitad B₁, pero se aplicarán con una brocha no indicada para estos trabajos; por lo tanto, las micras no serán las pedidas por normativa, las capas de pintura no serán uniformes y los bordes de la pieza no quedarán cubiertos del todo, por lo que será un foco por donde atacará la corrosión.



Figura 86. Probeta del Grupo B

3.3.1.3 Grupo C

La pieza que compone este grupo no recibirá ningún tratamiento; no será limpiada ni pintada.

Se dejará al natural para ver cómo afecta la corrosión al acero natural si no ha recibido ningún tipo de tratamiento anticorrosivo.



Figura 87. Probeta del Grupo C

3.3.1.4 Grupo D

Las piezas pertenecientes al Grupo D serán limpiadas con un cepillo de acero, por lo que la mayor parte del óxido será retirada, pero la pieza no quedará limpia. Se aplicará una primera capa de imprimación con una brocha, por lo que la capa de imprimación no será uniforme; habiendo zonas donde se superará las micras estimadas para esta primera capa y en otras zonas no se llegará a las deseadas.

Tras 24 horas, se aplicará la segunda capa de imprimación con las mismas condiciones que la primera.

Por último, la tercera capa de pintura a aplicar será de resina epoxi, que al igual que las dos primeras, no se realizará de forma correcta, por lo que las zonas de críticas de la pieza, los cantos, no tendrán apenas pintura y será por donde primero puede atacar la corrosión.



Figura 88. Probeta del Grupo D

3.3.1.5 Grupo E

La pieza perteneciente al Grupo E no será limpiada. Es decir, se aplicará la primera capa de imprimación directamente sobre el óxido. La pintura se aplicará con una brocha.

En primer lugar, la pieza recibirá una capa de imprimación y tras 24 horas recibirá la segunda capa de imprimación. La última capa que recibirá dicha pieza será de una pintura a base de esmalte epoxi.

Ninguna de tres capas anteriores tendrá las micras necesarias para que la pieza tenga un buen acabado.



Figura 89. Probeta del Grupo E

3.3.1.6 Grupo F

El último Grupo de piezas de acero de construcción naval, tendrán una correcta limpieza y un correcto proceso de pintado siguiendo la normativa vigente.

En primer lugar, todo el óxido será retirado mediante una amoladora y se aplicará la primera capa de imprimación gracias a una pistola aerográfica.

La segunda capa de imprimación se aplicará pasadas 24 horas y con las mismas condiciones que la primera.

La tercera capa es una capa a base de resinas epoxi que se aplicará, al igual que las dos primeras, con una pistola aerográfica.

La cuarta y última capa de pintura aplicada a esta pieza será una capa de pintura antiincrustante, la elección de aplicar esta última capa se debe a que la pintura antiincrustante es empleada en la construcción naval para evitar que microorganismo se adhieran a las estructuras marinas y buques y, además, retardar la aparición de la corrosión. En nuestro caso, al no estar las probeta en mar abierto, la cantidad de microorganismos es muy reducida por lo que se puede considerar que no hay una adhesión de microorganismos, pero queremos comprobar si la corrosión retarda más su aparición.

La probeta D, al ser la que más capas de pintura ha recibido, es la que más micras tiene con un total de 320 micras. En la Figura 90 se observa la probeta F tras el proceso de pintado.



Figura 90. Probeta del Grupo F

3.3.2. Aleación base aluminio

Disponemos de una probeta con las características anteriormente especificadas que será sumergida en agua de mar teniendo un óxido natural, para ver los efectos de la corrosión en el aluminio. Previo a la inmersión en el agua de mar la pieza será rayada por ambas caras para eliminar la capa de protección y provocar que la corrosión afecte de manera más rápida.



Figura 91. Probeta de aluminio

Transcurrido dos meses la probeta es retirada del agua para proceder a su pintado.

Esta pieza será dividida en dos zonas que recibirán el mismo tratamiento pero aplicada de manera diferente; la primera mitad, que denominaremos Al_1 , no se limpiará por lo que la pintura será aplicada directamente sobre la corrosión; se aplicarán dos capas de imprimación y una de resina epoxi. Se prescindirá de la capa

de pintura antiincrustante. La pintura se aplicará con una brocha, por lo que las capas de pintura no quedarán porosas ni uniformes.

La otra mitad, Al_2 , será limpiada con una amoladora para retirar la corrosión que pueda presentar y, a continuación se le aplicará la primera capa de imprimación fosfatante mediante pistola Airless. Transcurridas 24 horas, la segunda capa de imprimación fosfatante será aplicada y tras su secado, se pintará la pieza con dos manos imprimación epoxi. Finalmente, las últimas capas que llevará Al_2 será un esmalte acabado epoxi 9010. A su vez, Al_2 será dividida en otras dos partes; Al_{2-1} no recibirá más capas de pintura, pero Al_{2-2} recibirá una última capa que será una pintura antiincrustante.

Finalmente, la probeta es de nuevo introducida en agua de mar durante 3 meses para estudiar el ataque de la corrosión en el aluminio. Transcurridos estos tres meses, la zona Al_1 será rayada mediante estropajo de acero inoxidable para poder estudiar el comportamiento de la corrosión cuando una superficie ha sido dañada.

La probeta es introducida de nuevo en agua de mar durante otros 3 meses.

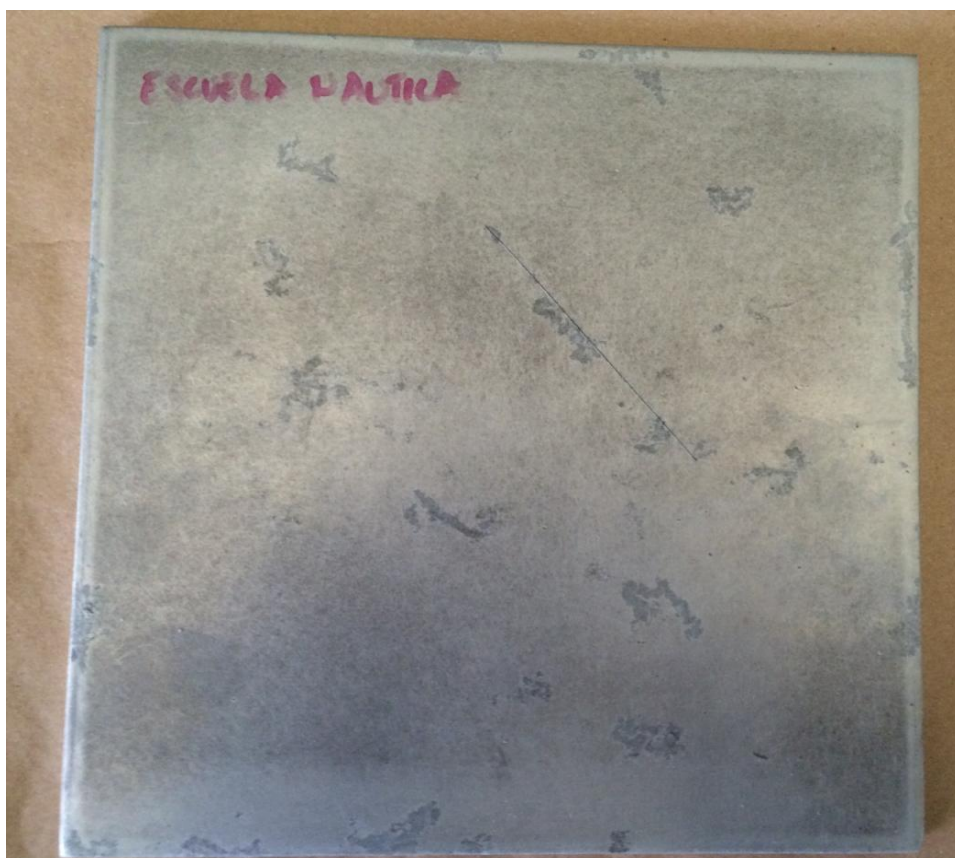


Figura 92 .Probeta de aluminio antes de ser pintada



Figura 93. Probeta de aluminio durante la primera parte del proceso de pintado



Figura 94. Probeta de aluminio durante la segunda parte del proceso de pintado

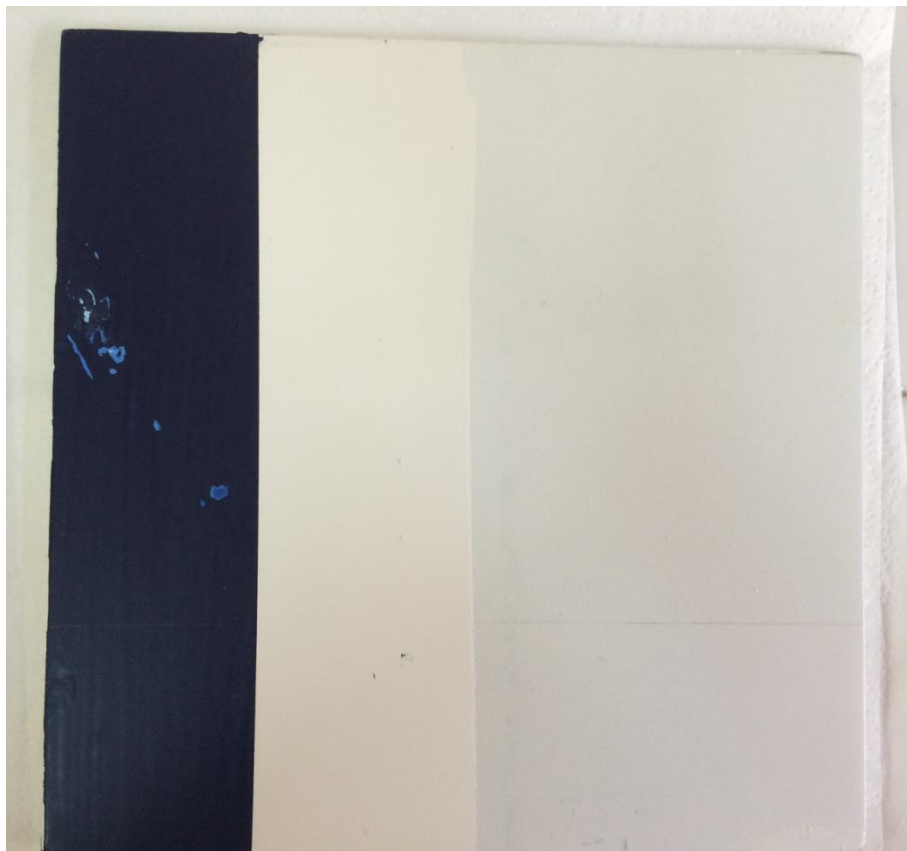


Figura 95. Probeta de aluminio durante la tercera parte del proceso de pintado



Figura 96. Reverso de la probeta de aluminio tras el proceso completo de pintado

En la Figura 97 se recoge un esquema de los sistemas de pintado que ha recibido esta probeta:



Figura 97. Esquema de pintado de la pieza de aluminio



Figura 100.Vista de la Bahía de Santander

A la Bahía de Santander llega el cauce de varios cursos fluviales, entre ellos: la Ría de Solía y la Ría de Cubas. Respecto a la geología de esta zona cabe destacar que está compuesta por arcillas y sales de Keuper.

Las propiedades químicas de esta agua se reflejan Tabla 28:

Tabla 28. Parámetros químicos del agua de la Bahía de Santander

[María Victoria Biezma Moraleda, Universidad de Cantabria, España]

Densidad	1,025 g/ml
Turbidez	≤ 1 U.N.F.
pH	8,19-8,22
Conductividad	18-22 mS/cm
Acidez	0,06-0,18 mEq/L
Alcalinidad	2,36-2,72mEq/L
Dureza	6,4-6,8 g CaCO ₃ /L
Amonio	0-50 µg N-NH ₄ ⁺ /L
Calcio	320-680 mg Ca/L
Nitritos	0-25 µg N-NO ₂ ⁻ /L
Nitratos	100- 125 mg N –NO ₃ ⁻ /L
Sulfatos	720 – 900 mg S- SO ₄ ⁻² /L
Fosfatos	0-23 µg P-PO ₄ ⁻³ /L
Cloruros	17,6 -19,2 g Cl ⁻ /L

En el laboratorio donde se ha llevado a cabo el estudio de la corrosión, la temperatura media del agua ha sido de 18°C. El electrolito se cambiará aproximadamente cada 70 días, con el fin de que las piezas estén en todo momento completamente sumergidas. Por último, cabe destacar que las piezas han estado en todo momento en condiciones aeróbicas y alejadas de la luz solar directa.

Capítulo 4-

Resultados y Análisis

4.1 Introducción

En este capítulo se muestran los resultados que han sido obtenidos, después de 10 meses, en las probetas de acero de construcción naval y la probeta de aluminio que ha sido objeto de estudio en este proyecto. Estos resultados también serán analizados.

En primer lugar, veremos los resultados que hemos obtenido en las diferentes probetas de acero naval y cómo se han comportado éstas en función del tratamiento que recibieron.

En segundo lugar, estudiaremos el comportamiento del aluminio y se analizarán las diferentes zonas de la placa.

4.2 Acero de construcción naval

Al principio del estudio de la corrosión no diferenciamos entre las probetas de acero naval ya que todas son AH36, es decir, todas tienen la misma composición química y las mismas características. En la Figura 101 se aprecia una probeta de acero de construcción naval antes de recibir un tratamiento a base de pinturas y en la Figura 102 se ven todas las probetas empleadas en el estudio de la corrosión sumergidas en agua de mar.



Figura 101. Probeta tipo empleada en el estudio de la corrosión



Figura 102. Probetas de acero de construcción naval sumergidas en agua de mar

Las probetas de acero son sumergidas en agua de mar, con unas características químicas desarrolladas en el Capítulo 3 de este proyecto, durante doce días. Transcurridos estos días, se realizará una observación de las piezas fuera del agua. A simple vista se puede observar como la corrosión ya ha comenzado a atacarlas; hay una capa de corrosión por toda la parte superior de las piezas, que es la que está en contacto con el agua; la parte inferior al estar no estar en contacto directo con el agua de mar no presenta corrosión todavía. Las probetas seguirán sumergidas nuevamente en agua de mar durante 7 días más. En las Figura 103 y Figura 104 se presentan dos probetas de acero de construcción naval con la capa de corrosión que ha aparecido tras 14 días sumergidas en agua de mar.



Figura 103. Probeta tras una semana en agua de mar



Figura 104. Probeta tras dos semanas en agua de mar

Transcurrida los siete días, las probetas son retiradas del electrolito y se procederá a su limpieza y posterior pintado. Disponemos de 9 probetas y a partir de este momento las diferenciaremos en 6 grupos (A, B, C, D, E y F) y cada probeta recibirá un tratamiento diferente; en algunas probetas aplicaremos la normativa vigente y otras probetas recibirán un tratamiento incorrecto. La normativa que regula las pinturas y barnices en ambiente marino es la norma UNE-EN ISO 12944 (Pinturas y barnices: Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores).

A continuación, detallamos cómo han sido pintadas cada una de las probetas del estudio.

En las dos primeras probetas se aplicará el protocolo que dicta la norma UNE-EN ISO 12944. Limpiaremos las probetas con una amoladora para retirar la capa de óxido que ya se había formado y terminamos su limpieza con una lija fina,

dejando las piezas completamente limpias. En primer lugar, aplicamos una capa de imprimación epoxi mediante una pistola Airless de forma que quede toda la pieza bien cubierta; transcurridas 24 horas aplicamos otra capa de imprimación epoxi en las piezas. Para acabar la pieza recibe dos piezas de pintura marina epoxi de dos componentes; la resina epoxi también es aplicada mediante una pistola Airless. En la Figura 105, Figura 106 y Figura 107 se muestra el proceso de pintado y el resultado final de estas dos probetas que pertenecen al Grupo A:

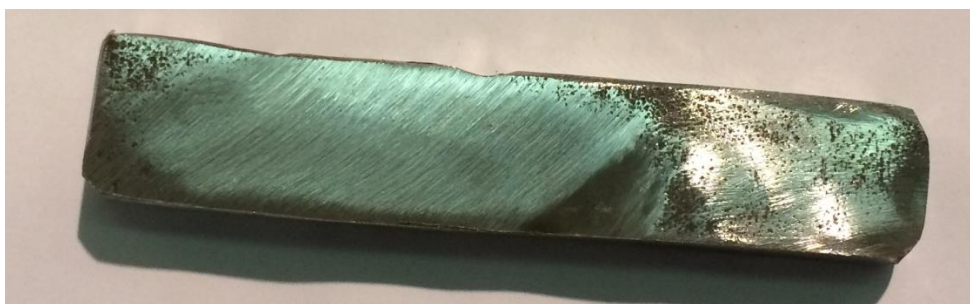


Figura 105. Probeta A durante el proceso de limpieza



Figura 106. Probeta pintada con dos capas de imprimación



Figura 107. Probeta del Grupo A con dos capas de imprimación y dos de pintura epoxi

La pieza que pertenecerá al Grupo B será pintada de dos formas diferentes; la primera mitad (B_1) recibirá el mismo tratamiento que las piezas del Grupo A. Esta primera mitad se limpiará con una amoladora y una lija fina y recibirá dos capas de imprimación epoxi y dos manos de pintura marina epoxi, las capas de pinturas se aplicarán con una pistola Airless. En la segunda mitad (B_2) no se aplicará el protocolo establecido; en este caso se limpiará superficialmente con una lija gruesa y, posteriormente, se pintará con dos capas de esmalte epoxi pero una sola capa de pintura marina; además, estas capas de pintura se aplican con una brocha. En la Figura 108 y Figura 109 se muestra el proceso de pintado de la pieza B.



Figura 108. Proceso de pintado de la pieza B



Figura 109 .Pieza B pintada

El siguiente grupo, Grupo C, está compuesto por una probeta que no recibirá ningún tratamiento ni será limpiada. Con esta probeta podremos estudiar el proceso de corrosión natural. En la Figura 110 se puede observar la pieza C tras dos meses sumergida en agua de mar.



Figura 110 .Probeta C

El cuarto grupo, Grupo D, formado por dos piezas no recibirá el sistema de pintado adecuado. Para comenzar, la pieza no se limpiará de forma correcta, se ligará de forma superficial con lija por lo que no retiramos todo el óxido que había aparecido en la pieza. Aplicamos una capa de imprimación epoxi y transcurridas 24 horas aplicamos otra capa de imprimación; en este caso la pintura es aplicada con una brocha por lo que la pintura no será regular por toda la superficie y los cantos no quedarán bien cubiertos. Por último, la pieza recibe solo una capa de pintura marina. En la Figura 111 y Figura 112 se presentan la probeta D durante su proceso de pintado.

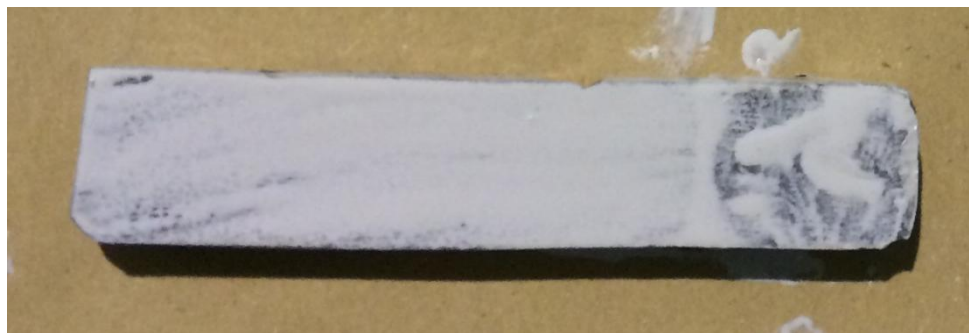


Figura 111.Probeta D en proceso de pintado



Figura 112. Probeta D tras el proceso de pintado

Las probetas del Grupo E recibirán la primera capa de imprimación epoxi directamente sobre el óxido. Transcurrido el tiempo de secado se aplica otra capa de imprimación epoxi y solo una capa de pintura marina a base de resina epoxi. En este caso la pintura se aplica con una pistola Airless. En la Figura 113 y Figura 114 se observa la probeta E durante su proceso de pintado.



Figura 113. Probeta E tras la primera capa de pintura



Figura 114. Probeta E tras la aplicación de todas las capas de pintura

La pieza del último grupo será la que reciba el tratamiento más idóneo para evitar la corrosión en ambientes marinos. Como las piezas del Grupo A, se limpiará bien la pieza con una amoladora y una lija fina para retirar todo el óxido; posteriormente, se le aplica dos capas de pintura esmalte epoxi (imprimación); a continuación, dos capas de pintura marina a base de resina epoxi y para terminar la pieza un capa de pintura marina antiincrustante. En la Figura 115 y Figura se muestra el aspecto de la pieza durante el proceso de pintado y el resultado final:



Figura 115 .Probeta D durante el proceso de pintado



Figura 116.Probeta D tras el proceso de pintado

Una vez que todas las piezas han sido pintadas son sumergidas nuevamente en agua de mar y permanecerán en estas condiciones durante 6 meses. Las piezas son colgadas con hilo de nylon para que no toquen el fondo del cubo donde han sido introducidas y así la corrosión ataque de la misma manera por todas sus caras. Periódicamente se observarán para ver si son afectadas por la corrosión. El agua de mar será cambiada dos veces en estos seis meses, debido a la evaporación que ha

sufrido. En la Figura 117 se observan todas las probetas de acero de construcción naval, tras haber sido pintadas, nuevamente sumergidas en agua de mar:



Figura 117. Probetas de acero de construcción naval sumergidas en agua de mar tras recibir un tratamiento a base de pinturas marinas

4.2.1 Grupo A

Durante las observaciones a las probetas del Grupo A apenas se observarán cambios. Estas piezas no presentan corrosión por ninguna de sus caras ni cantos,, pero ambas tienen dos ligeros golpes en uno de sus cantos donde se ha desprendido la capa de pintura y la corrosión ha atacado a las piezas por esa zona. Tampoco se observan ampollas en la superficie ni rugosidad en la pintura. En la Figura 118, Figura 119 y Figura 120 se presentan varias imágenes de la probeta A a lo largo del estudio de la corrosión:



Figura 118. Probeta A tras un mes en agua de mar



Figura 119. Probeta A tras seis meses en agua de mar



Figura 120. Probeta A tras 8 meses sumergida en agua de mar

4.2.2 Grupo B

En la pieza dos si se observan cambios. En primer lugar analizaremos la parte denominada B1. La zona B1 como fue pintada siguiendo el protocolo dictado por la normativa no presentará corrosión por su superficie, pero aparecerá cierta rugosidad en la pintura. En la Figura 121 y Figura 122 se presenta la probeta B durante el estudio de la corrosión:



Figura 121. Probeta B tras un mes en agua de mar



Figura 122. Probeta B tras seis meses en agua de mar

Por otra parte, la parte B2, presentará corrosión principalmente por sus cantos y en la superficie de la pieza aparecerán ampollas a los tres meses de haber sido sumergida.

En esta pieza hay que destacar que a las dos semanas de estar en agua de mar comienza a aparecer corrosión en la zona de división de ambas partes; esta corrosión se debe a que el cordón de nylon que sujeta las piezas ha levantado parte de la pintura. Esta corrosión aumentará de forma más rápida los primeros meses, pasados tres meses seguirá aumentado pero con una cinética menor. En la Figura 123 se observa la probeta B tras 8 meses sumergida en agua de mar:



Figura 123. Probeta B tras 8 meses sumergida en agua de mar

4.2.3 Grupo C

Esta pieza no ha recibido ningún tratamiento así que seguirá su proceso natural de corrosión durante los seis meses. Los primeros meses la corrosión tendrá una cinética mayor, es decir, se corroerá más rápido. Los últimos meses sigue corroyéndose pero a una velocidad menor. En la Figura 124, Figura 125 y Figura 126 se muestra la probeta C durante el periodo que se ha estudiado la corrosión:



Figura 124. Probeta C tras un mes en agua de mar



Figura 125. Probeta C tras seis meses en agua de mar



Figura 126. Probeta C tras 8 meses sumergida en agua de mar

4.2.4 Grupo D

En el primer mes ya comienza a aparecer la corrosión en las piezas; esta corrosión es mucho más acusada en los cantos y picos de la pieza, aunque en las caras también ha ligeros síntomas de una corrosión por picadura. En una de las dos piezas de este grupo ya hay ampollas en la pintura.

Pasados los seis meses la corrosión por picadura ha seguido avanzando y ha aparecido en las caras de las probetas. Los picos están totalmente corroídos. Las ampollas han aumentado su diámetro y toda la pintura presenta cierta rugosidad. En la Figura 127 y Figura 128 se muestra como ha sido atacada la probeta D por la corrosión y en la Figura 129 se observa la parte de la probeta D que ha sufrido mayor corrosión.



Figura 127. Probeta D tras un mes en agua de mar



Figura 128. Probeta D tras seis meses en agua de mar



Figura 129. Detalle de la probeta D tras 8 meses sumergida en agua de mar

4.2.5 Grupo E

Al igual que las piezas del Grupo D, la corrosión aparece en el primer mes. Hay una ligera corrosión por picadura por las caras y en los cantos, donde la capa de pintura es más fina, aparece una corrosión generalizada. Este proceso de corrosión seguirá aumentando hasta que las picaduras aumenten de diámetro y estén por toda la superficie. En este caso no hay ampollas bajo la pintura, pero ésta si tendrá una ligera rugosidad. En la Figura 130, Figura 131 y Figura 132 se presentan varias imágenes de cómo la probeta E ha sido atacada por la corrosión.



Figura 130. Probeta E tras un mes en agua de mar



Figura 131. Probeta E tras seis meses en agua de mar

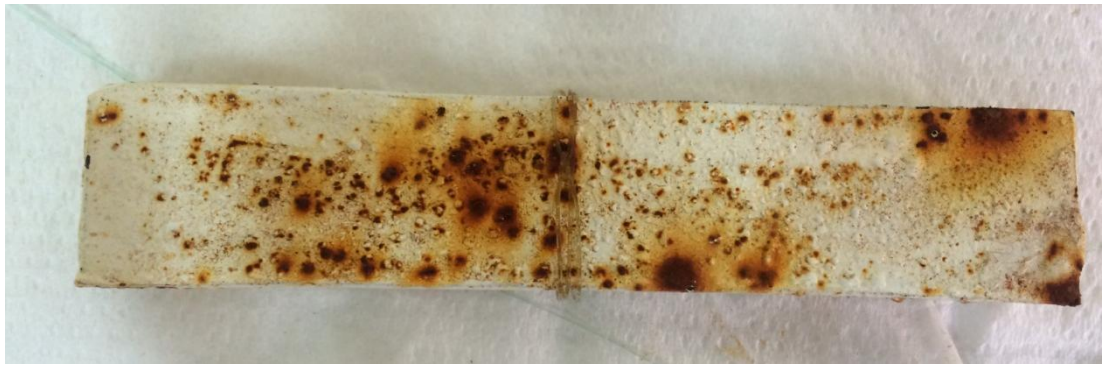


Figura 132. Probeta E tras 8 meses sumergida en agua de mar

4.2.6 Grupo F

En esta pieza no hay cambios notables durante todo el proceso de estudio. No aparecen ampollas por la superficie, la pintura no muestra rugosidad y no hay corrosión por ninguna de las caras de la pieza, ni por sus cantos ni picos. Solo cabe destacar que a los seis meses en una de las esquinas hay un pequeño principio de corrosión. En la Figura 133 y Figura 134 se presenta la probeta F durante el periodo de estudio de la corrosión y la Figura 135 se observa cómo la corrosión ha atacado ligeramente a la probeta F por un canto.



Figura 133. Probeta D tras un mes en agua de mar

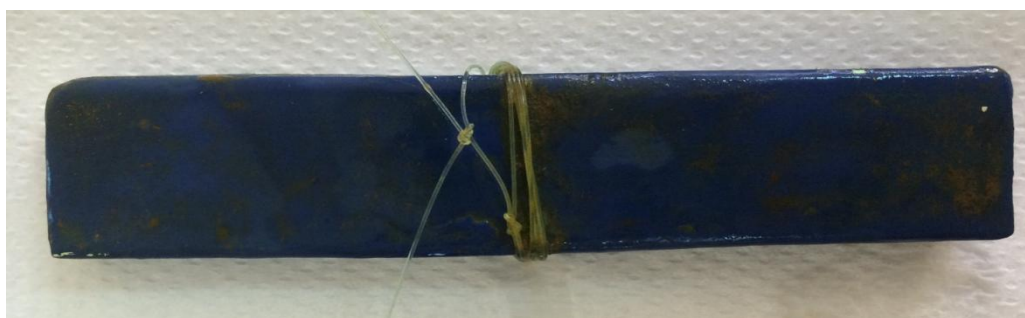


Figura 134. Probeta D tras seis meses en agua de mar



Figura 135.Detalle de la probeta D

4.2.7 Comparativa de la superficie perdida debido a la corrosión de las diferentes probetas

El último día de recogida de datos tomamos medidas de las probetas más desgastadas (Grupo C, Grupo E y Grupo D) para calcular la cantidad de material que han perdido los meses que han estado sumergidas en agua de mar. Del resto de probetas no se toman medidas ya que el ataque por corrosión que han sufrido es muy pequeño y la pérdida de material es insignificante.

Las medidas iniciales de las probetas se muestran en la Tabla 29:

Tabla 29. Medidas iniciales de las probetas de acero de construcción naval

Medidas pieza de acero de construcción naval(mm)	
Altura	100
Ancho	30
Espesor	12

Con estos datos podemos calcular el área total que tenían las probetas al comienzo del estudio de la corrosión, tal y como se muestra en la Tabla 30:

Tabla 30. Área de las probetas de acero de construcción naval

Área pieza de acero de construcción naval (mm²)	
Cara 1	6000
Cara2	2400
Cara 3	720
Área total	9120

4.2.7.1 Grupo C

Medimos la probeta perteneciente al Grupo C y obtenemos los siguientes datos:

Tabla 31. Medidas de la probeta C

Datos obtenidos	
Ancho 1	28
Ancho 2	23

Realizamos los cálculos de nuevo área de la probeta C y obtenemos los resultados que se plasman a continuación:

Tabla 32. Nuevo área de la pieza C

Área cara 1 pieza C	5100
Área pieza C	8220
Área perdida	900
%Perdido	9,87
%Restante	90,13

Podemos concluir que, en este caso, se ha perdido un décimo de la materia inicial debido a la corrosión que ha sufrido esta pieza, la cual no había recibido ningún tipo de tratamiento.

4.2.7.2 Grupo E

En el Grupo E tenemos dos probetas (E1 y E2) las cuales han sido medidas ayudándonos de un calímetro, los datos que hemos obtenido en este caso son:

Tabla 33. Nuevas medidas probeta E1

Datos obtenidos	
Ancho 1	30
Ancho 2	24

Tabla 34. Nuevas medidas probeta E2

Datos obtenidos	
Ancho 1	23
Ancho 2	28

Además, la pieza E2 tiene grandes picaduras en su superficie que también son cuantificadas, ya que en esas zonas también se ha perdido material, los valores de éstas picaduras son cuantificadas en la Tabla 35:

Tabla 35. Áreas de las picaduras de la pieza E1

Área 2	30
Área 3	30
Área 4	25

Con todos estos datos calculamos el área perdida en cada una de las probetas del Grupo E, tal como se observa en la Tabla 36:

Tabla 36. Tabla 32. Nuevo área de la pieza E1

Área pieza E1	8520
Área perdida	600
%Perdido	6,58
%Restante	93,42

Tabla 37. Nuevo área de la pieza E2

Área perdida	985
Nueva área pieza	8135
%Perdido	10,80
%Restante	89,20

Como conclusiones podemos sacar, que a pesar de haber recibido ambas probetas el mismo tratamiento, la primera de ellas ha perdido solamente un 6,58% de su superficie inicial, mientras que la otra (E2) al tener grandes picaduras por su superficie ha perdido un 10,80%, es decir una superficie equivalente a 935 mm².

4.2.7.3 Grupo D

En el último grupo de probetas de las que se tomo medida es el Grupo D, el cual también está compuesto por dos probetas (D1 y D2). Los datos obtenidos en esta toma de medida se cuantifican en la Tabla 38 y Tabla 39:

Tabla 38. Nuevas medidas de la probeta D1

Datos obtenidos	
Ancho 1	24
Ancho 2	25

Tabla 39. Nuevas medidas de la probeta D2

Datos obtenidos	
Ancho 1	30
Ancho 2	28

De nuevo, realizamos el cálculo del valor de cada cara de las piezas y obtenemos las áreas de la materia que han perdido. Pero al igual que en la Pieza E2, la pieza D2 tiene picaduras significativas las cuales son medidas y, a partir de estos datos, obtenemos el área correspondiente con dicha picadura, tal como se presenta en la Tabla 40:

Tabla 40. Áreas de las picaduras de la pieza D2

Área 2	40
Área 3	49
Área 4	2
Área 5	3

Con todos los datos anteriores calculamos la nueva área de las piezas del Grupo D:

Tabla 41. Nueva área de la pieza D1

Área perdida	1362
Nueva área pieza	7758
%Perdido	14,93
%Restante	85,07

Tabla 42. Nueva área de la pieza D2

Área perdida	294
Nueva área pieza	8826
%Perdido	3,33
%Restante	96,67

Analizando los datos obtenidos, vemos como la pieza D1 ha perdido un 14.93% de los 9120 mm² iniciales, es decir ha perdido 1362 mm². Por otro lado, la pieza D2, aunque tiene mayores picaduras, estas apenas han reducido el área inicial de la pieza, por lo que solamente ha perdido un 3.33%.

4.2.8 Análisis final

Para finalizar el estudio de los datos obtenidos en las probetas de acero de construcción naval se presentan la Figura 136 el área que ha perdido cada una de las probetas que recibieron un tratamiento a base de pintura.

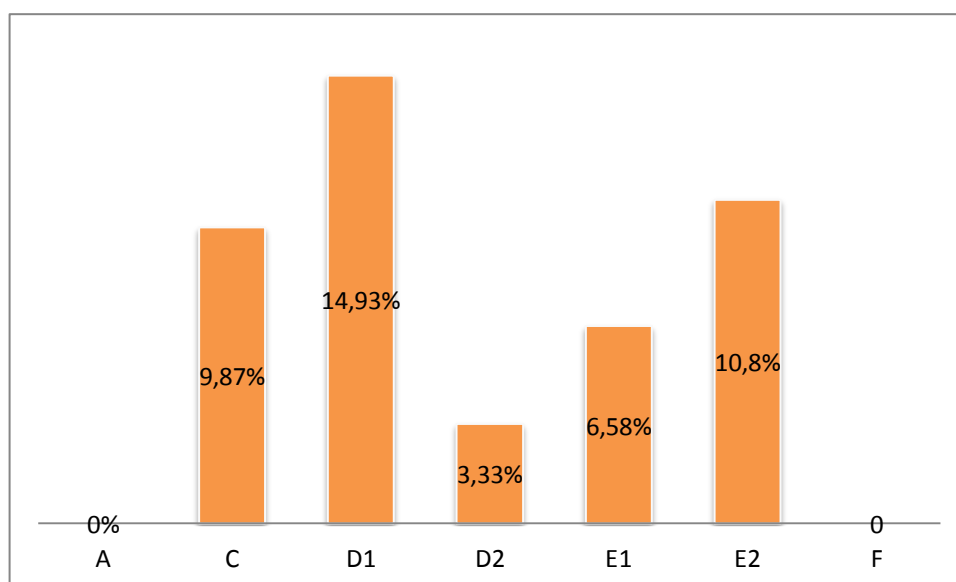


Figura 136. Área perdida debido a la corrosión en las probetas de construcción naval

Las conclusiones que podemos sacar de la Figura 136 es que las probetas del Grupo D, a pesar de haber recibido el mismo tratamiento, no ha perdido una cantidad de materia parecida, sino que una ha sufrido una perdida casi imperceptible, mientras que D1 ha perdido un 14.93% del material. En el Grupo E ambas piezas han perdido una cantidad significativa de materia. Por otro lado, las probetas A y F, gracias a haber recibido un tratamiento correcto no han material. Por último, la probeta C no había recibido ningún tratamiento a base de pintura y solo ha perdido un 9.87% de la materia inicial.

Otra de las conclusiones principales que podemos sacar después del análisis de los resultados obtenidos, es que la aparición de la corrosión, en aquellas probetas de acero de construcción naval que no recibieron las capas de pinturas exigidas en la normativa, la aparición de la corrosión se puede dividir en tres etapas principales.

En la primera etapa donde se desarrollan ampollas bajo la pintura, lo que significa que hay una formación de corrosión bajo la superficie de la pintura. En la segunda etapa la capa de pintura que formaba la ampolla se desprende y comienza un ataque por corrosión localizada, lo que provocará más adelante una corrosión generalizada, que es la tercera etapa.

Por último, cabe destacar, referente a las probetas de acero de construcción naval que el ataque de la corrosión se centra en todos los casos en los cantos de las probetas o en la zona donde las piezas han sido sujetadas mediante hilo de nylon. Incluso en la probeta F, que era la probeta que había recibido un tratamiento a base de pinturas siguiendo todo el protocolo establecido aparece una ligera corrosión en uno de los cantos, esto es debido a que en estas zonas, por tener una geometría más compleja, las micras de pintura son menos que en el resto de la pieza y que las establecidas en la normativa.

4.3 Aleación base aluminio

Al igual que en el acero naval, en el aluminio se estudiará la corrosión durante 10 meses. En esta ocasión disponemos de una placa de aluminio 5083 la cual se dividirá en varias partes y cada una de estas partes recibirá un tratamiento diferente de pintura y observaremos cómo actúa la corrosión en función de la limpieza y las capas de pintura que ha recibido.

En primer lugar, ya que la cinética de la corrosión en el aluminio es muy lenta haremos unos rayones en la placa ayudándonos con un cúter; de esta forma eliminamos la capa de pasivación del aluminio y provocamos que la corrosión comience su ataque por esta zona. En la Figura 137 y en la Figura 138 se presenta la

probeta de aluminio objeto de estudio en este proyecto; en la Figura 139 se muestra la probeta de aluminio sumergida en agua de mar.



Figura 137. Probeta de aluminio antes de ser sumergida

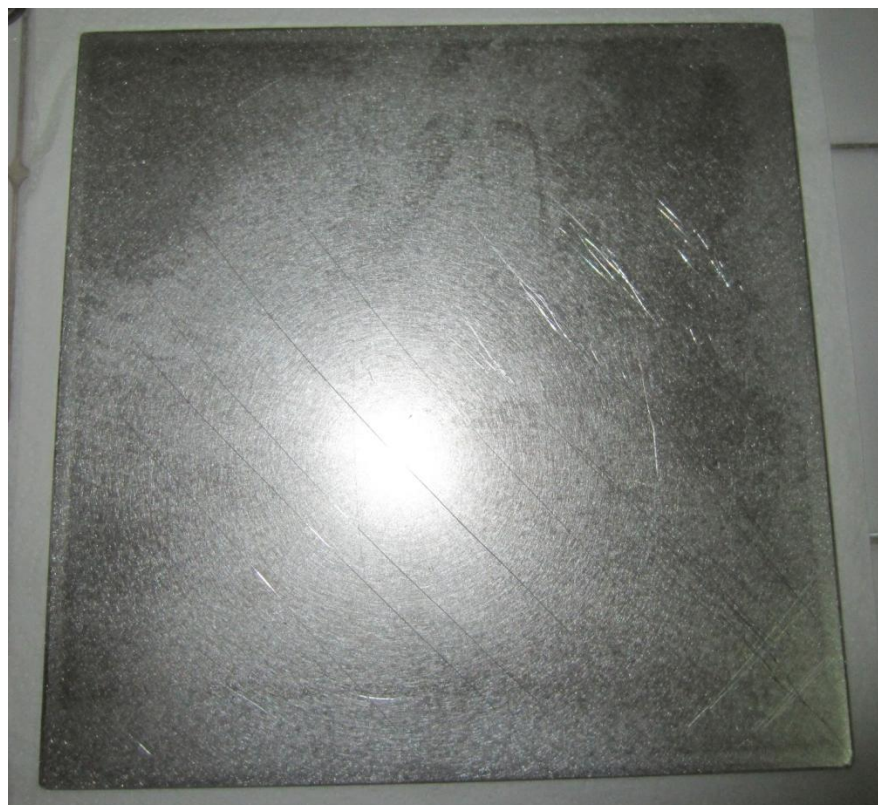


Figura 138. Rayones realizados en la probeta de aluminio



Figura 139. Probeta de aluminio sumergida en agua de mar

Sumergimos el aluminio en agua de mar cuatro meses. En estos dos meses no hay grandes cambios en la placa, pero los primeros síntomas de corrosión comienzan a aparecer donde ha sido eliminada la capa de pasivación del aluminio, es decir, donde realizaron los rayones. En la Figura 140 se observa cómo la probeta de aluminio ha perdido brillo tras los primeros cuatro meses de estudio de la corrosión:



Figura 140. Probeta de aluminio tras 4 meses sumergida

Transcurridos los cuatro meses iniciales, la probeta es retirada del agua de mar para proceder al pintado de la misma. Como ya hemos dicho la placa la vamos a subdividir en secciones para estudiar los diferentes comportamientos. En la Figura se presentan las subdivisiones de la placa de aluminio. En la Figura 141 se esquematiza cómo han sido denominadas cada parte de la probeta de aluminio:



Figura 141.Subdivisiones de la probeta de aluminio

A continuación, explicaremos que tipo de tratamiento ha recibido cada una de las partes de la placa de aluminio.

La parte Al 1 no se limpiará correctamente, se limpiará superficialmente con una lija pero no se retirará todo el óxido que pueda tener ni se limpiará la grasa que posea. Solo recibirá una capa de imprimación fosfatante, una de imprimación epoxi y una de esmalte epoxi.

La segunda parte, Al 2-1, se limpiará correctamente, empleando una amoladora y una lija fina para retirar toda el óxido que haya podido aparecer durante el periodo que ha estado sumergida en agua de mar, además se limpiará con disolvente para eliminar restos de grasas que pueda tener la pieza. Las capas de pintura que llevará esta parte será:

-2 manos de imprimación fosfatante

-2 manos de imprimación epoxi de color gris

-2 manos de esmalte epoxi 9010

La última parte, AI2-2, también se limpiará siguiendo la normativa, es decir, con una amoldadora y una lija y se limpiarán los restos de grasa que pueda tener. Las capas de pintura son las mismas que en la zona AI2-1 pero se le añadirá una capa extra de pintura antiincrustante. En la placa de aluminio toda la pintura es aplicada con una pistola Airless. En la Figura 142, Figura 143 y Figura 144 se presenta el proceso de pintado de la placa de aluminio.

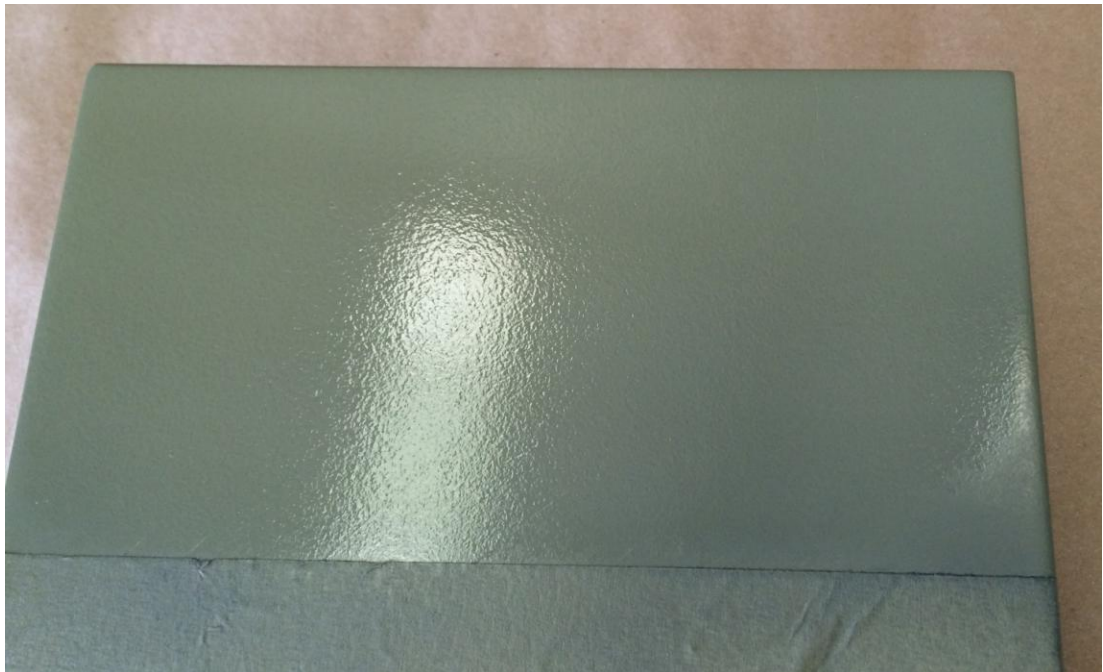


Figura 142. Detalle de la placa de aluminio durante el proceso de pintado



Figura 143. Chapa de aluminio durante el proceso de pintado

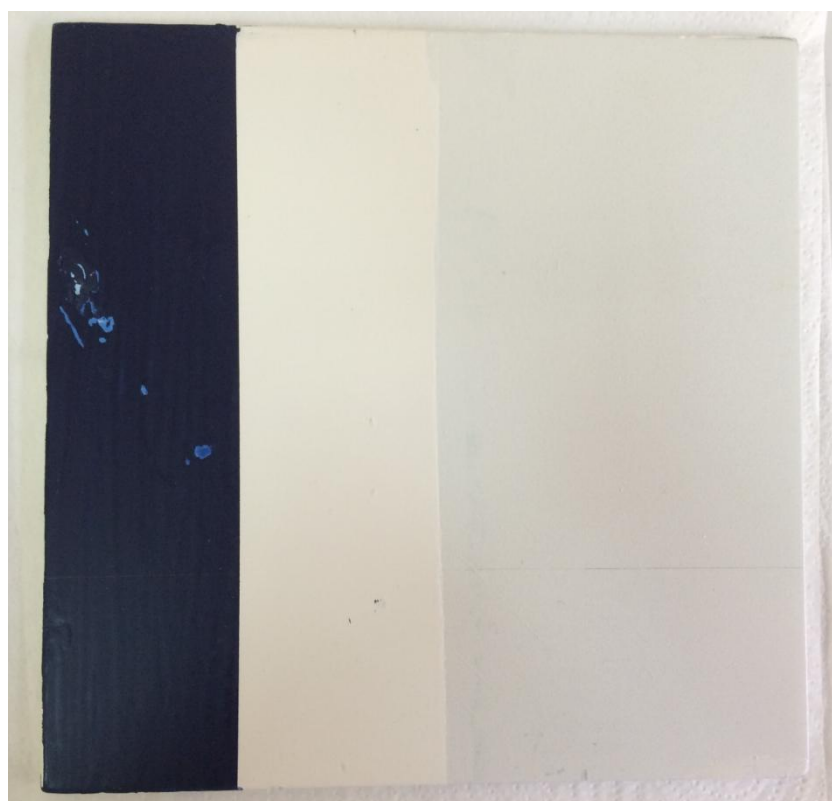


Figura 144. Probeta de aluminio tras el proceso de pintado

Cuando han sido aplicadas todas las capas de pintura y éstas se han secado la chapa de aluminio es introducida de nuevo en agua de mar. Estará sumergida 6 meses; el agua de mar se cambiará cada tres meses. La pieza será colgada con un hilo de nylon para que la corrosión ataque a toda la pieza por igual. En la Figura 145 se observa la probeta de aluminio, tras haber recibido todos los tratamientos de pintado, sumergida en agua de mar:

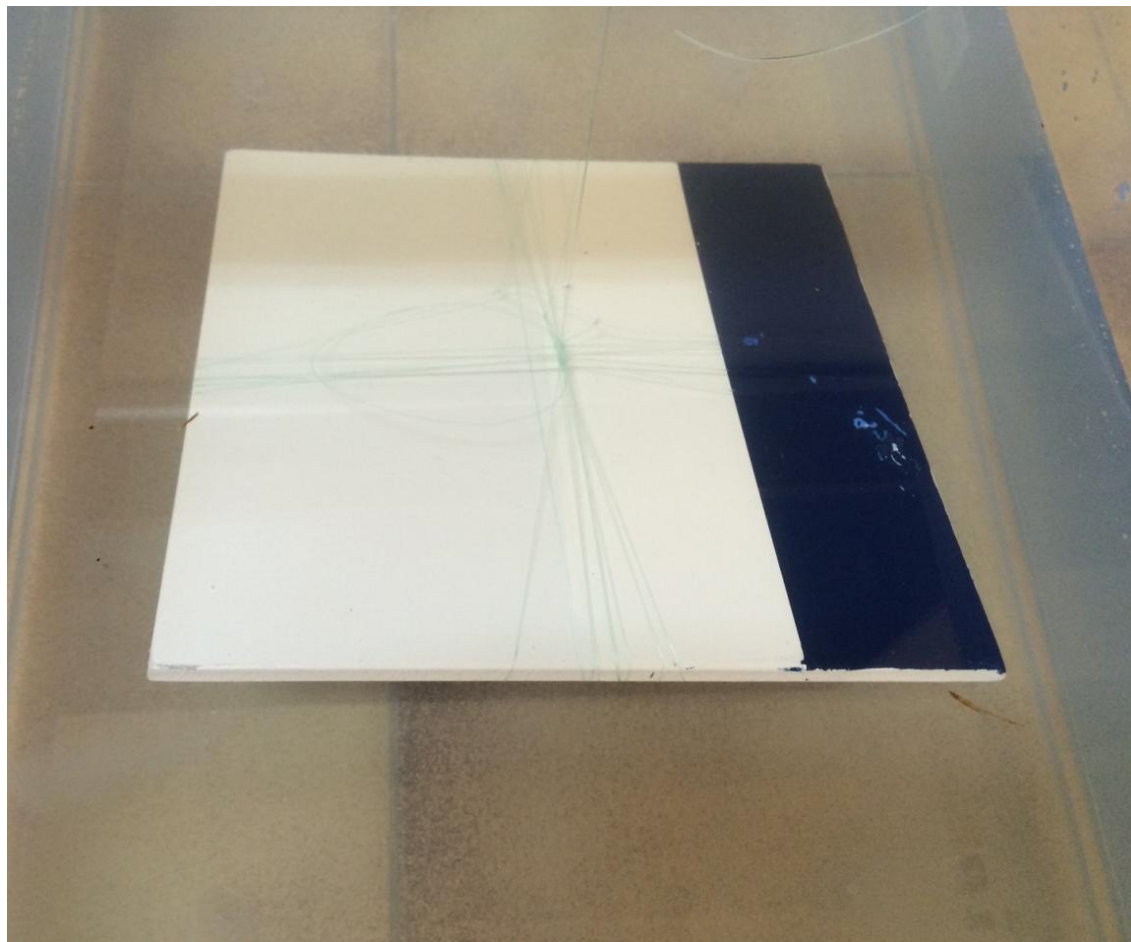


Figura 145. Probeta de aluminio sumergida en agua de mar

En el primer mes, y en la zona Al 1, empiezan a aparecer pequeñas burbujas bajo la pintura, pero todas tienen un diámetro medio 0.5 mm. En las demás zonas no hay ningún cambio apreciable. Esta tendencia continúa otro mes más. En la Figura 146 se observa la pieza de aluminio tras un mes sumergida en agua de mar, tras haber sido pintada.

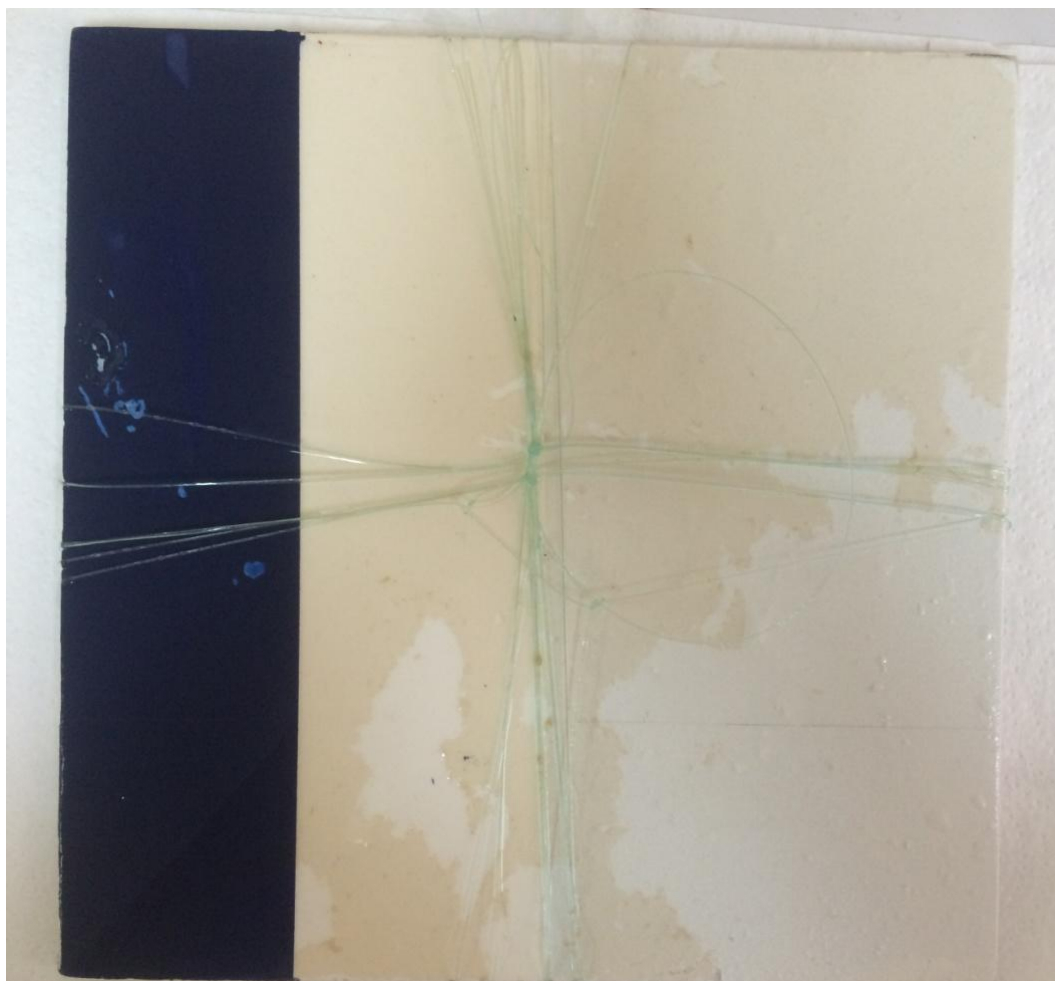


Figura 146. Probeta de aluminio tras un mes sumergida en agua de mar

Pasados dos meses, delimitamos cuatro zonas en la placa de acero, para estudiar el comportamiento de las ampollas en estas zonas, ya que han ido aumentando de tamaño. Las zonas delimitadas se muestran en las Figura 147 y Figura 148, respectivamente:

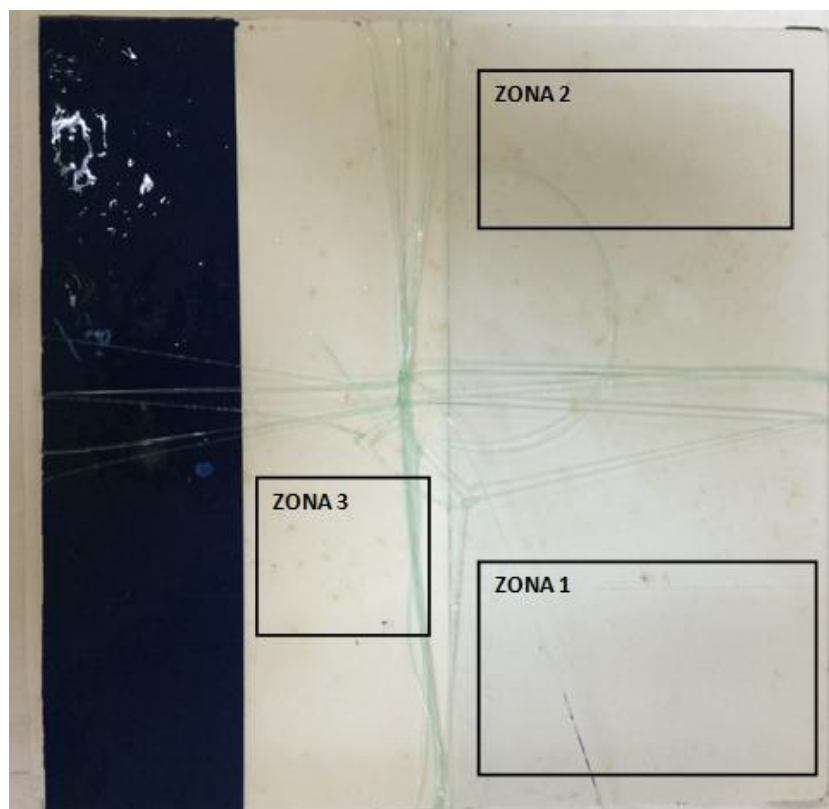


Figura 147.Zonas delimitadas en la parte delantera de la placa de aluminio

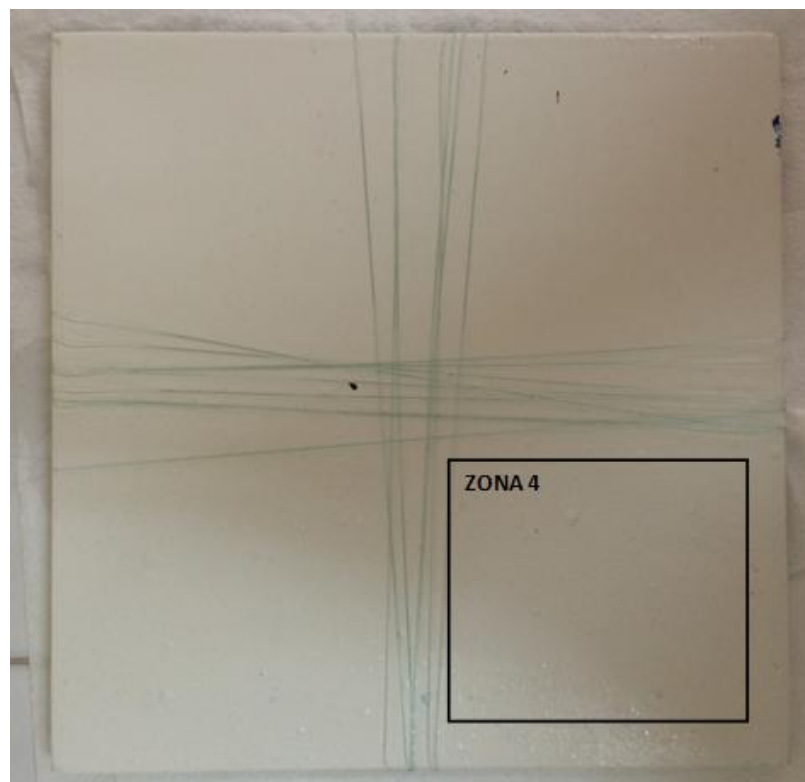


Figura 148.Zonas delimitadas en la parte trasera de la placa de aluminio

En estas zonas delimitadas creamos unas cuadrículas para poder contar las ampollas por cuadrícula y hacer un mejor estudio del comportamiento del aluminio en agua de mar.

En la Zona 1 hay ampollas cerradas, pero para agilizar el proceso de la corrosión pasamos un estropajo de acero inoxidable por esta zona, de forma que las ampollas queden abiertas y la corrosión pueda atacar a la placa por esta zona. En la Figura 149 se observa la zona de la probeta de aluminio donde las ampollas han sido explotadas:



Figura 149.Detalle de la Zona 1

Los datos obtenidos el primer día en las zonas delimitadas se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 43.Ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

		A	B	C	D
1	Nº ampollas	2	1	4	1
	Cerradas	1	1	4	0
	Abiertas	1	0	0	1
2	Nº ampollas	3	2	1	4
	Cerradas	2	1	1	1
	Abiertas	1	1	0	3
3	Nº ampollas	3	0	2	7
	Cerradas	2	0	1	1
	Abiertas	1	0	1	6
4	Nº ampollas	2	0	4	6
	Cerradas	0	0	1	0
	Abiertas	2	0	3	6

Tabla 44.Número total de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

		Porcentaje
Número total de ampollas	42	100
Número total ampollas cerradas	16	38,10
Número total ampollas abiertas	26	61,90

Tabla 45.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

	A	B	C	D
1	2	5	2,75	0
2	2	2	3	1
3	2	0	2	2
4	0	0	1	0

Tabla 46.Ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio

	A	B	C
1	10	6	3
2	4	3	4
3	6	3	5

En total hay 44 ampollas en la Zona 2 cerradas. En la Figura 150 se observan las ampollas de la Zona 2.



Figura 150.Detalle de la Zona 2

Tabla 47.Ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio

	A	B
1	3	1
2	2	1
3	3	3

El número total de ampollas en la Zona 3 es de 13 ampollas, todas de ellas cerradas.

Tabla 48.Ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio

	A	B	C	D	E
1	12	9	9	10	7
2	8	5	5	6	4
3	6	10	15	3	7
4	11	9	11	9	16

En la Zona 4 hay 162 ampollas.

Si estudiamos estas tablas, sacamos en conclusión que la zona peor pintada es la donde más ampollas hay. Además, las únicas ampollas abiertas son las que provocamos nosotros gracias a un estropajo de acero inoxidable en la zona 1, en el resto de las zonas las ampollas que hay están todas cerradas.

Dos semanas después volvemos a hacer un recuento de las ampollas que hay en la placa, si han aumentado de número o de diámetro, las ya existentes, y si ha explotado de forma natural alguna ampolla más. En este caso los datos obtenidos son:

Tabla 49.Ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

		A	B	C
1	Nº ampollas	2	1	8
	Cerradas	1	1	4
	Abiertas	1	0	4
2	Nº ampollas	4	3	2
	Cerradas	2	2	1
	Abiertas	2	1	1
3	Nº ampollas	4	0	2
	Cerradas	2	0	1
	Abiertas	2	0	1
4	Nº ampollas	2	0	4
	Cerradas	0	0	1
	Abiertas	2	0	3

Tabla 50. Número total de ampollas

		Porcentaje
Número total de ampollas	56	100
Número total ampollas cerradas	23	41,07
Número total ampollas abiertas	33	58,93

En dos semanas el número de ampollas en la Zona 1 ha aumentado en 14, con un total de 56 ampollas, es decir ha habido un aumento de un 25% en el número de ampollas. En la Figura 151 se observa la Zona 1 de la probeta de aluminio:

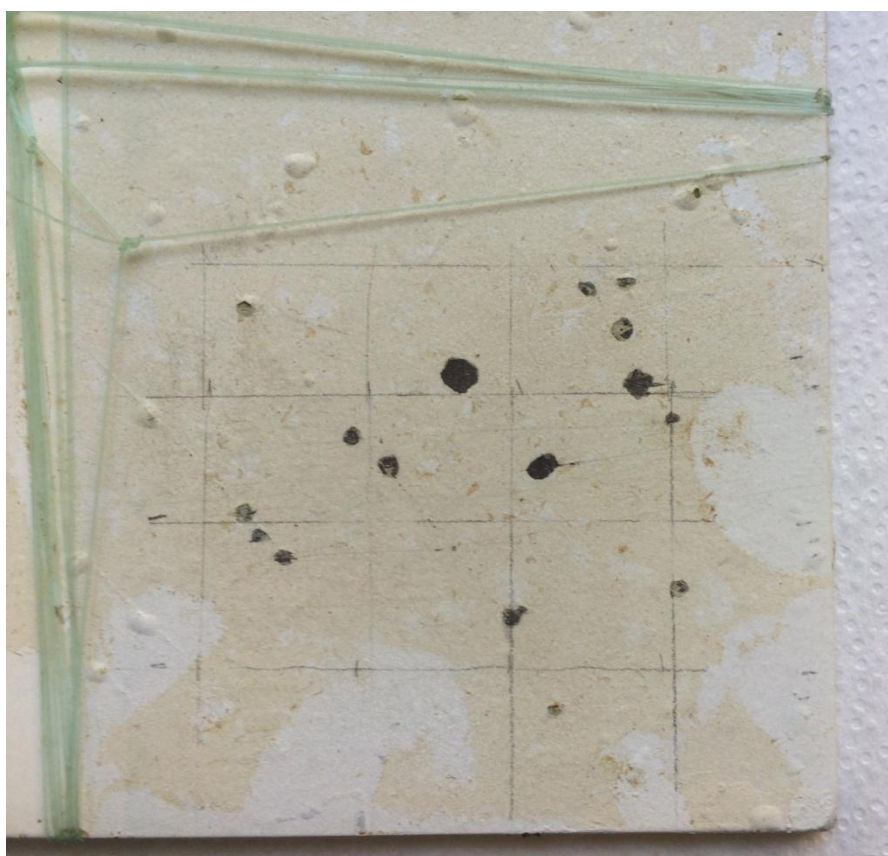


Figura 151. Detalle de la Zona 1 de la probeta de aluminio

Tabla 51. Diámetro medio de las ampollas abiertas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

	A	B	C	D
1	2	0	2,75	1
2	2,75	3	4	1,35
3	2,5	0	3	1,5
4	1,5	0	2,33	1,58

Tabla 52. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas cerradas en la Zona 2 de la probeta de aluminio

	A	B	C	D
1	1	1	1,75	1
2	2	2,5	1	1,33
3	2	0	3	2
4	0	0	2	3,33

Por otra parte, en la Zona 2, los nuevos datos obtenidos son:

Tabla 53. Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio

	A	B	C
1	12	6	3
2	4	3	4
3	6	3	5

Transcurridas dos semanas en la Zona 2 hay 46 ampollas; el número total de ampollas ha aumentado en 2.

Tabla 54. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 2

	A	B	C
1	1,125	0,667	2
2	1,5	0,667	1,25
3	1,167	2,334	2,2

En la Figura 152 se presentan las ampollas de la Zona 2 tras dos semanas más sumergida en agua de mar.

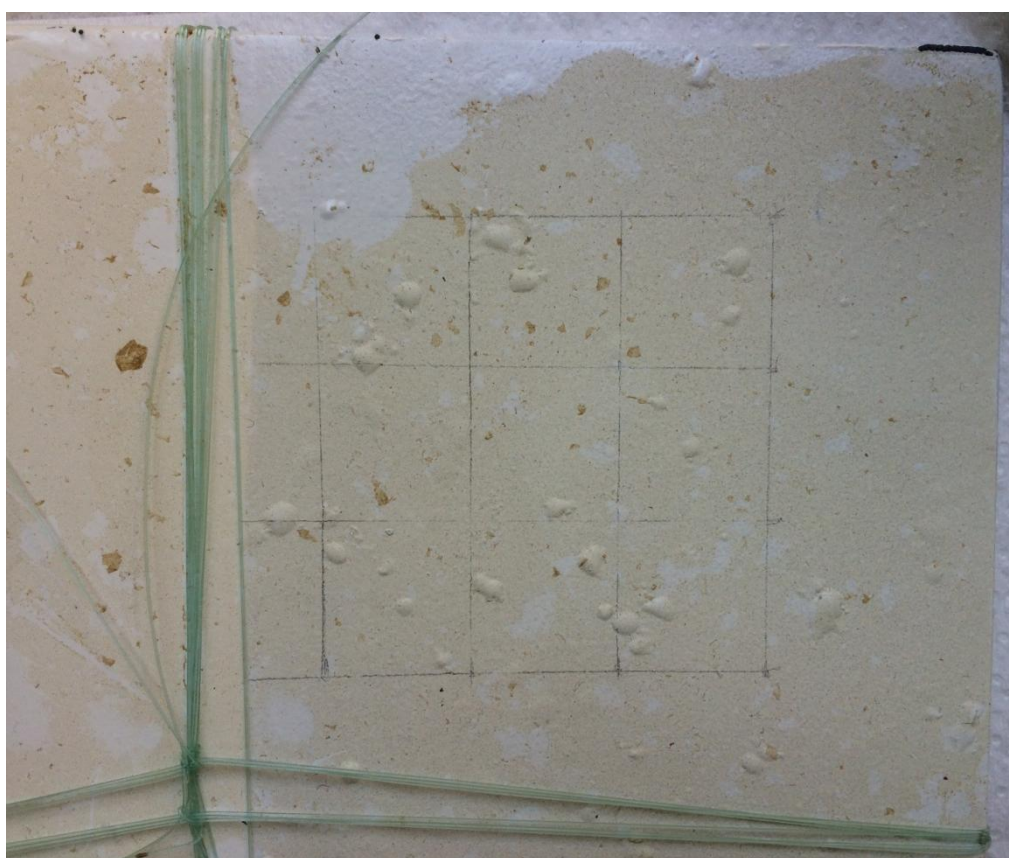


Figura 152. Detalle de la Zona 2 de la placa de aluminio

Los datos de la Zona 3 son los que se presentan a continuación y, como se puede observar, el número de ampollas en esta zona no ha variado.

Tabla 55. Número de ampollas en la Zona 3

	A	B
1	3	1
2	2	1
3	3	3

Los diámetros tampoco han sufrido casi variación, siendo el diámetro medio por cuadrícula los que plasman en la Tabla 56:

Tabla 56. Diámetro medio por cuadrícula de la Zona 3

	A	B
1	1,333	1
2	1	1
3	1	1,333

En la última zona analizada, Zona 4, el número de ampollas por cuadrícula es el siguiente:

Tabla 57. Número de ampollas en la Zona 4

	A	B	C	D	E
1	12	10	9	10	8
2	8	5	5	7	5
3	6	10	15	3	8
4	12	10	11	9	16

El número total de ampollas en la Zona 4 ha pasado de 162 a 179, es decir hay 17 ampollas nuevas, lo que supone un 10% más de ampollas cerradas. Los diámetros de estas nuevas ampollas son los siguientes:

Tabla 58. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 4

	A	B	C	D	E
1	2,167	1,4	9	1	1,375
2	1,5	1,8	0,5	0,5	0,8
3	2	2	0,766	0,5	1,375
4	1,916	1,5	1,091	0,778	1,062

La Figura 153 se presenta la Zona 4 de la probeta de aluminio.



Figura 153. Detalle de la Zona 4 de la probeta de aluminio.

Como se observa el número de ampollas ha aumentado en todas las zonas, pero sobretodo en aquella zona (Al 1) donde no se siguió el protocolo de pintado. Las ampollas ya existentes han aumentado su diámetro. Transcurridos 9 meses, las zonas de pintura donde no había pintura antiincrustante, es decir, las zonas Al2-2 y Al 1 presenta, además de las ampollas, cierta rugosidad.

Otras dos semanas después hacemos un nuevo recuento de ampollas en la placa de aluminio; en la Tabla 59 y en la Tabla 60 se presentan los datos obtenidos:

Tabla 59. Número de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.

		A	B	C	D
1	Nº ampollas	2	2	8	2
	Cerradas	1	1	4	1
	Abiertas	1	1	4	1
2	Nº ampollas	4	5	2	5
	Cerradas	2	3	1	2
	Abiertas	2	2	1	3
3	Nº ampollas	4	0	2	8
	Cerradas	2	0	1	2
	Abiertas	2	0	1	6
4	Nº ampollas	2	0	4	9
	Cerradas	0	0	1	3
	Abiertas	2	0	3	6

Tabla 60. Recuento del número total de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.

		Porcentaje
Número total de ampollas	59	100
Número total ampollas cerradas	24	40.68
Número total ampollas abiertas	35	59.32

Tabla 61. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas abiertas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D
1	2	1	3	1
2	3,25	4	4	1,667
3	3	0	3	1,667
4	1,5	0	2,667	1,75

Tabla 62. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas cerradas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D
1	1	1	1,75	5
2	2	2	1	1
3	2	0	3	2
4	0	0	3	3,334

En la Tabla 61 y en la Tabla 62 se presentan los diámetros medios de las ampollas cerradas y abiertas por cuadrícula, siendo el diámetro medio de las ampollas abiertas de 2,171 mm y el de las ampollas cerradas, 2,125 mm.

En la Zona 2, obtenemos unos datos y observamos como el número de ampollas no ha variado. Sigue habiendo 46 ampollas.

Tabla 63. Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	12	6	3
2	4	3	4
3	6	3	5

El diámetro medio de las ampollas es de 1,695 mm; en la Tabla 64 se presenta el diámetro medio de las ampollas por cuadrícula:

Tabla 64. Diámetro medio por cuadrícula de la ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	1,125	0,667	2
2	1,5	0,667	1,25
3	1,167	2,334	2,2

Al igual que en la Zona 2, en la Zona 3 el número de ampollas no ha aumentado; en esta caso tenemos un total de 13.

Tabla 65. Número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.

	A	B
1	3	1
2	2	1
3	3	3

En la Tabla 66 se presenta el diámetro medio de las ampollas por cuadrícula en la Zona 3.

Tabla 66. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.

	A	B
1	1,333	1
2	1	1
3	1	1,667

En la última zona delimitada para el estudio, Zona 4, hay un total de 179 ampollas, que al igual en las dos zonas anteriores el número de ampollas no ha

variado, pero el diámetro medio ha aumentado de 1,268 a 1,305 mm, el diámetro medio ha aumentado en un 2.83%.

Tabla 67. Número de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D	E
1	12	10	9	10	8
2	8	5	5	7	5
3	6	10	15	3	8
4	12	10	11	9	16

Tabla 68. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D	E
1	2,167	1,4	9	1	1,375
2	1,5	1,8	0,5	0,5	0,8
3	2	2	0,766	0,5	1,375
4	1,916	1,5	1,091	0,778	1,062

En la Figura 154 se presenta la Zona 4 de la probeta de aluminio, donde se pueden observar las ampollas que hay en esta zona.



Figura 154. Detalle de la Zona 4 de la probeta de aluminio.

En esta zona cabe destacar, que en solo dos semanas, ha aparecido una ampolla de 2.5 x 1.9 mm en la parte inferior de la zona Al2-1; esta ampolla está cerrada y no hay más ampolla a su alrededor.

Transcurrido un mes hacemos el último recuento de ampollas y medidos de nuevo los diámetros de las ampollas. Todos los datos recogidos serán plasmados en gráficas.

Como observaremos en las siguientes tablas el número de ampollas no ha aumentado en casi ninguna zona y el diámetro medio de las ampollas tampoco ha variado.

El recuento de ampollas en la Zona 1 arroja estos datos:

Tabla 69. Número de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.

		A	B	C	D
1	Nº ampollas	2	2	8	2
	Cerradas	1	1	4	1
	Abiertas	1	1	4	1
2	Nº ampollas	4	5	2	5
	Cerradas	2	3	1	2
	Abiertas	2	2	1	3
3	Nº ampollas	4	0	2	8
	Cerradas	2	0	1	2
	Abiertas	2	0	1	6
4	Nº ampollas	2	0	4	9
	Cerradas	0	0	1	3
	Abiertas	2	0	3	6

Tabla 70. Diámetro medio de las ampollas abiertas por cuadrícula

	A	B	C	D
1	2	5	2,75	1
2	3,25	4	5	1
3	3	0	3	1,5
4	1,5	0	2,67	1,75

Tabla 71. Diámetro medio de las ampollas cerradas por cuadrícula

	A	B	C	D
1	1	1	1,75	5
2	2	2	1	1
3	2	0	3	2
4	0	0	3	3,33

En dos meses el número total de ampollas ha aumentado de 42 a 59 (un 28.81%), siendo las ampollas abiertas las que más aumentado de número, han pasado de 26 a 35, ha habido un aumento de un 25.71%. Las ampollas cerradas han pasado de 16 a 24, en este caso ha habido un aumento de un 33.33%. En las Figura 155, Figura 156 y Figura 157 se presenta esta variación del número de ampollas.

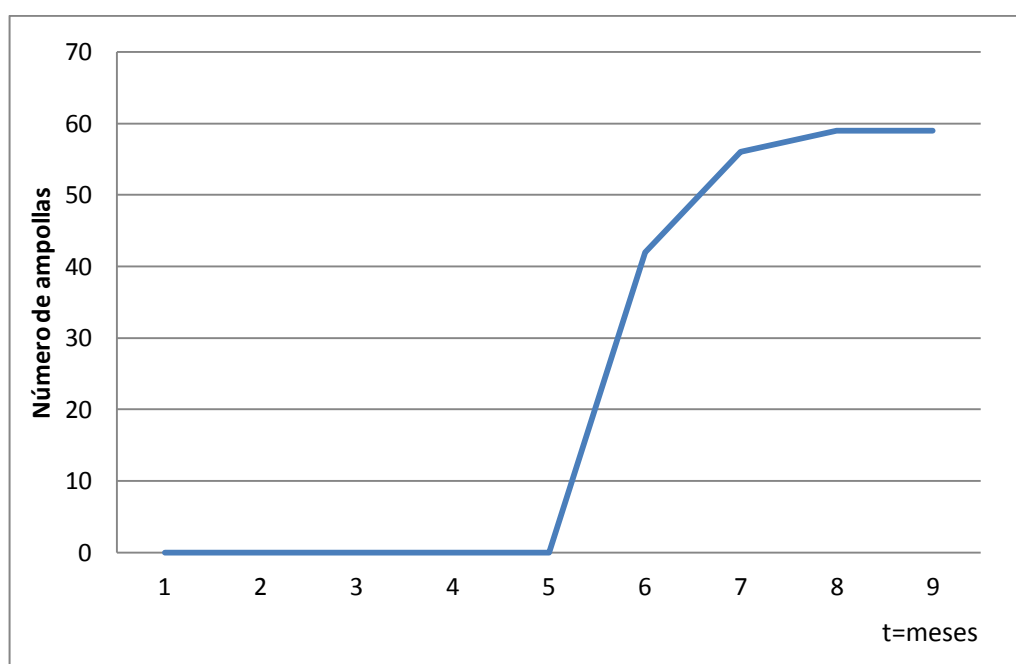


Figura 155. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

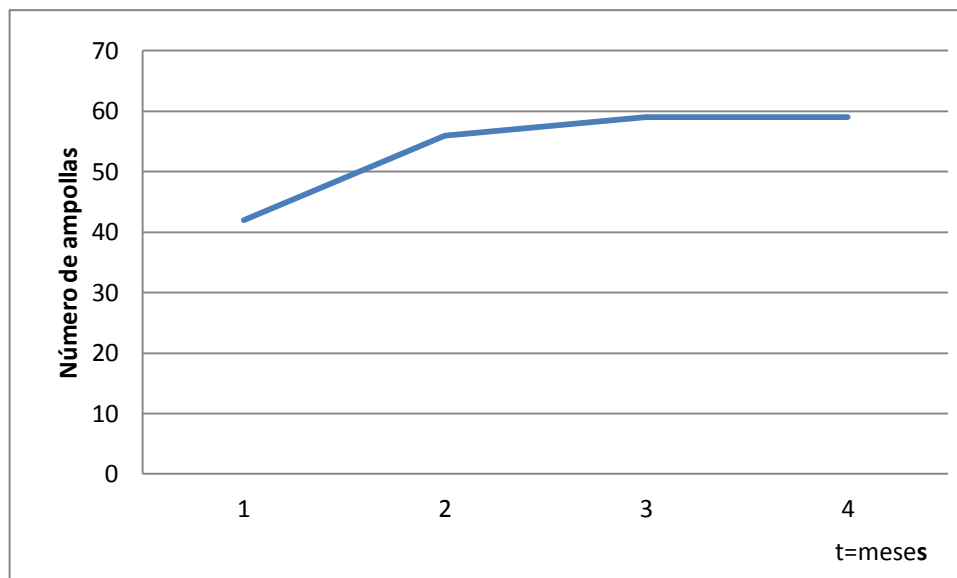


Figura 156. Detalle de la Figura 155 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo

La tendencia en las figuras anteriores atiende a las siguientes ecuaciones:

-Crecimiento del número de ampollas desde Diciembre hasta Agosto en la Zona 1 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 1. \quad y = 31,243 \ln(x) - 20,44$$

- Crecimiento del número de ampollas desde Mayo hasta Agosto en la Zona 1 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 2. \quad y = 12,738 \ln(x) + 43,879$$

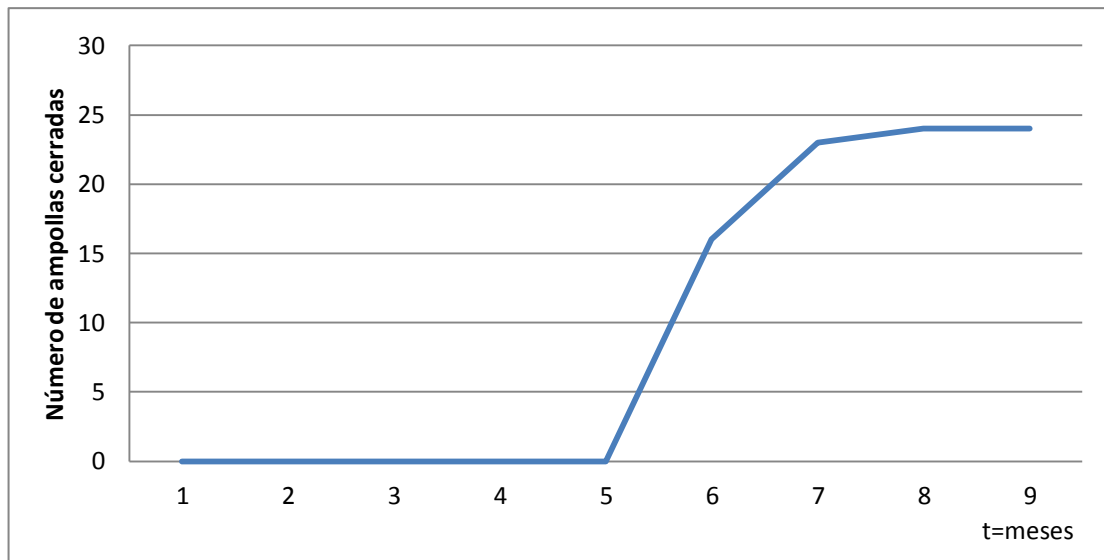


Figura 157. Número de ampollas abiertas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

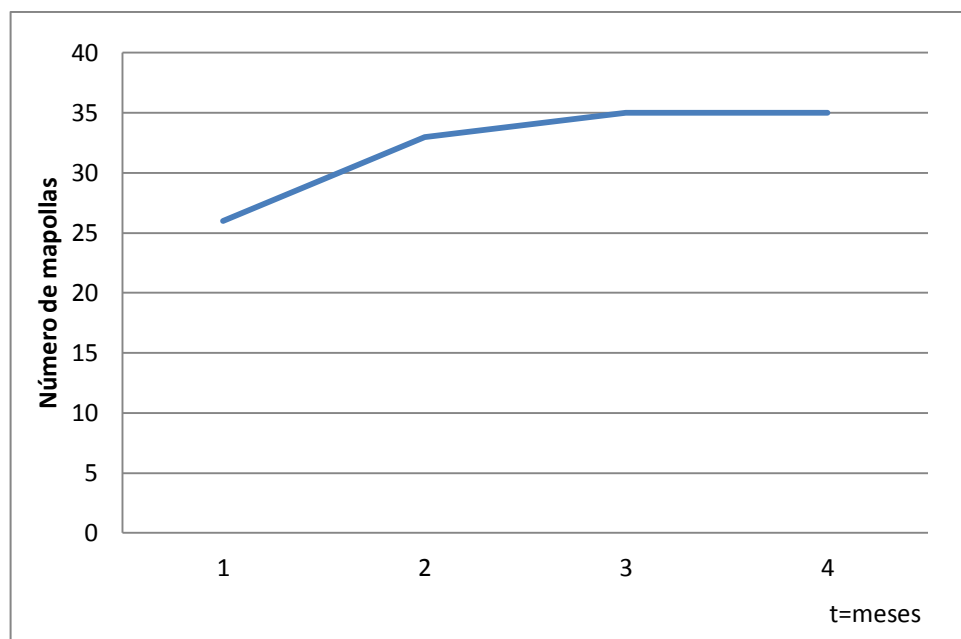


Figura 158. Detalle de la Figura 157 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo

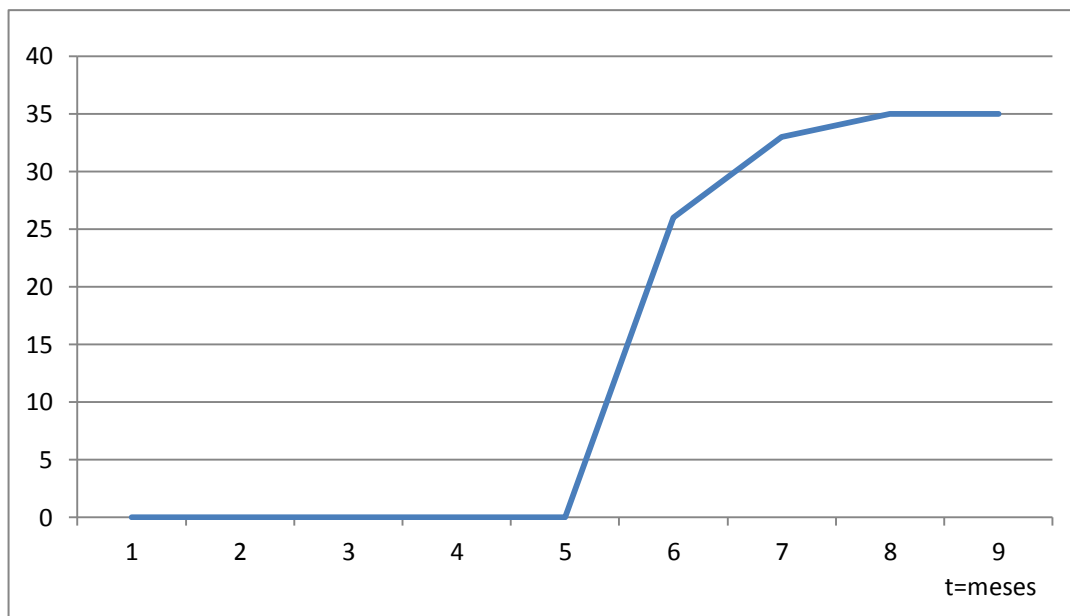


Figura 159. Número de ampollas cerradas en la Zona 1 de la probeta de aluminio

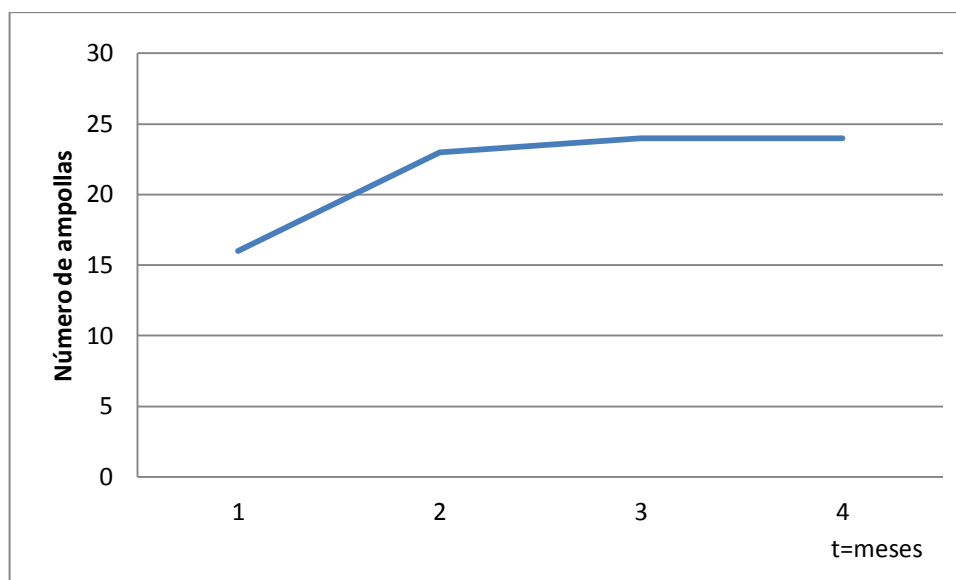


Figura 160. Detalle de la Figura 159 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo

A continuación se presentan las cuatro ecuaciones correspondientes con las gráficas del número de ampollas abiertas y cerradas en la Zona 1 de la probeta de aluminio:

-Crecimiento del número de ampollas abiertas en 9 meses

$$Ec\ 3. \quad y = 0,5617x^2 - 0,0002x - 3,4524$$

-Crecimiento del número de ampollas abiertas en 4 meses

$$Ec\ 4. \quad y = 1,75x^2 + 11,65 + 16,25$$

-Crecimiento del número de ampollas cerradas en 9 meses

$$Ec\ 5. \quad y = 0,4156x^2 - 0,3225x - 1,881$$

-Crecimiento del número de ampollas cerradas en 4 meses

$$Ec\ 6. \quad y = -1,75x^2 + 11,25 + 6,75$$

Por otro lado, en las Figura 161 y Figura 162 se muestra la variación del diámetro de las ampollas cerradas y abiertas:

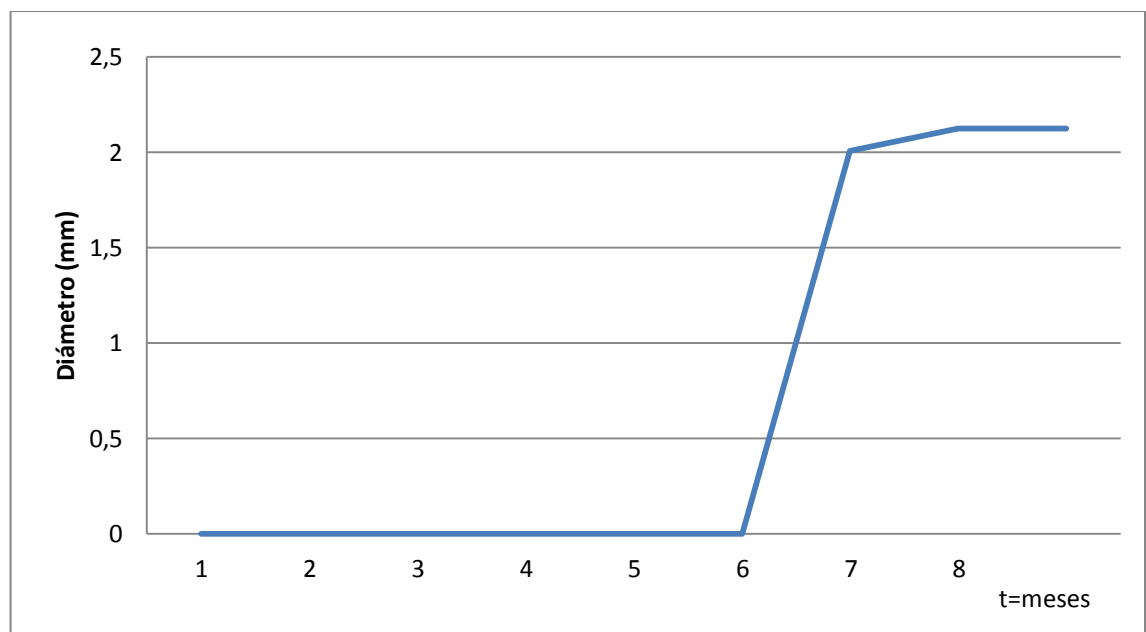


Figura 161. Crecimiento del diámetro las ampollas cerradas de la Zona 1 de la probeta de aluminio

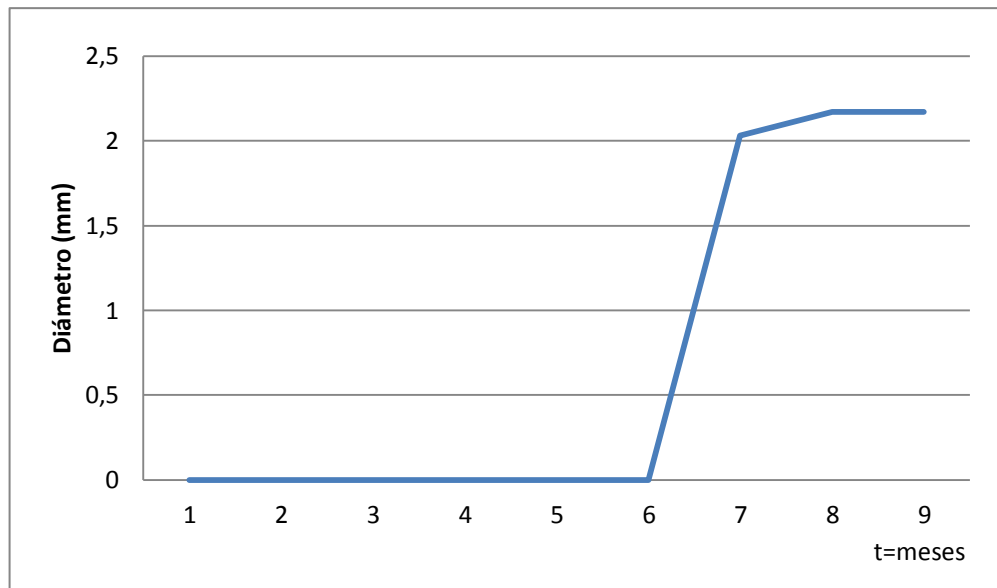


Figura 162.Crecimiento del diámetro de las ampollas abiertas de la Zona 1 de la probeta de aluminio

El crecimiento de los diámetros de las ampollas en la Zona 1 corresponde con las ecuaciones que se muestran a continuación:

-Crecimiento del diámetro de las ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 7. \quad y = 0,0631x^2 - 0,3162x + 0,278$$

-Crecimiento del diámetro de las ampollas abiertas en la Zona 1 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 8. \quad y = 0,0647x^2 - 0,3256x + 0,2882$$

En la Zona 2, el número de ampollas sigue sin variar, tal como se observa en la Tabla 72:

Tabla 72. Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	12	6	3
2	4	3	4
3	6	3	5

Aunque el número de ampollas no ha variado, las que ya existentes han aumentado su diámetro medio siendo ahora de 1.91 mm.

Tabla 73. Diámetro medio de las ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	1,375	1,5	2,333
2	1,5	2,667	1,75
3	1,5	3	3,3

Los datos recogidos se presentan en la Figura 163 y Figura 164:

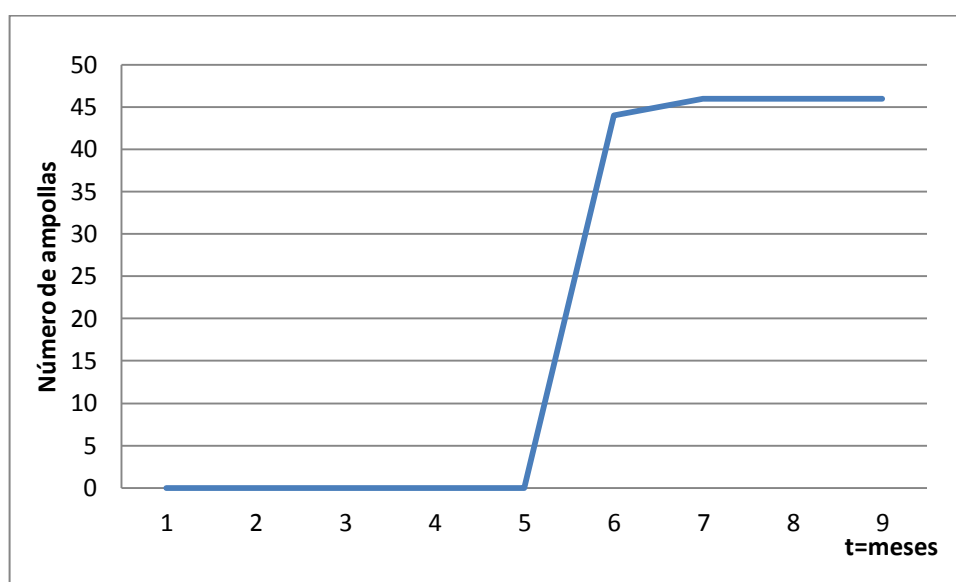


Figura 163. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio

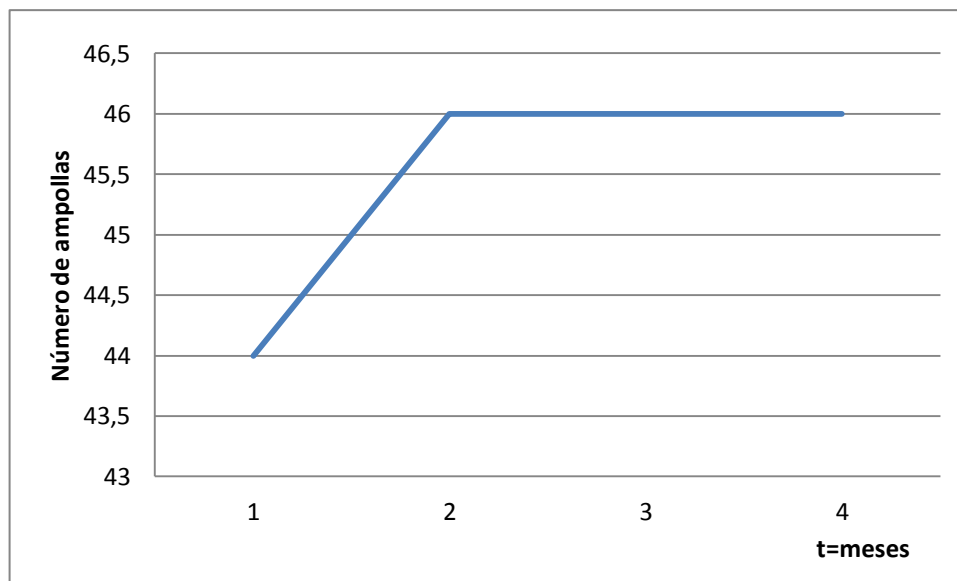


Figura 164. Detalle de la Figura 163 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo

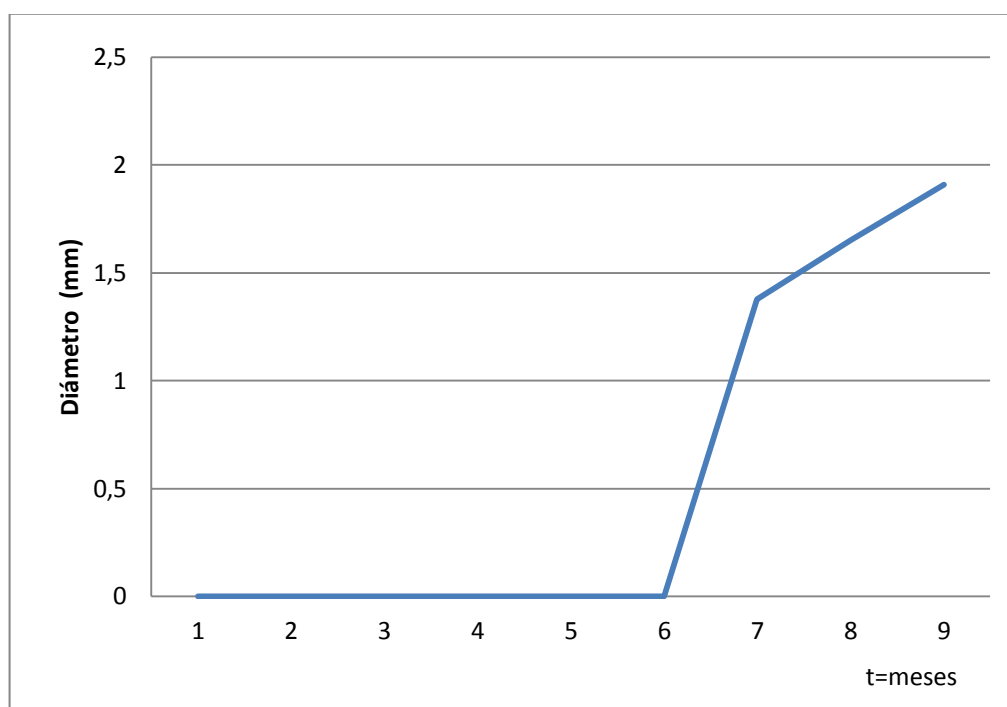


Figura 165. Crecimiento del diámetro medio de las ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio

Las gráficas obtenidas con los datos de la Zona 2 se pueden representar gracias a las siguientes ecuaciones:

-Crecimiento del número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 9. \quad y = 0,5346x^2 + 2,287 - 8,1429$$

-Crecimiento del número de ampollas desde Mayo hasta Agosto en la Zona 2 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 10. \quad y = -0,5x^2 + 3,1x + 41,5$$

-Crecimiento del diámetro de las ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 11. \quad y = 0,0585x^2 - 0,3288 + 0,3416$$

A continuación se presentan los datos de la Zona 3, donde el número de ampollas no ha variado desde que se comenzaron a recoger datos. El diámetro medio de las ampollas si ha aumentado, desde 1,154 a 1,307, lo que significa un aumento del diámetro de un 11.70% desde que se comenzaron a recoger datos.

Tabla 74. Número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	12	6	3
2	4	3	4
3	6	3	5

Tabla 75. Diámetro medio de las ampollas de la Zona 3 de la probeta de aluminio.

	A	B	C
1	1,125	1,5	2
2	1,5	2,667	1,75
3	1,5	2,667	2,3

Como en los casos anteriores, los datos se plasman en la Figura 166 y Figura 167:

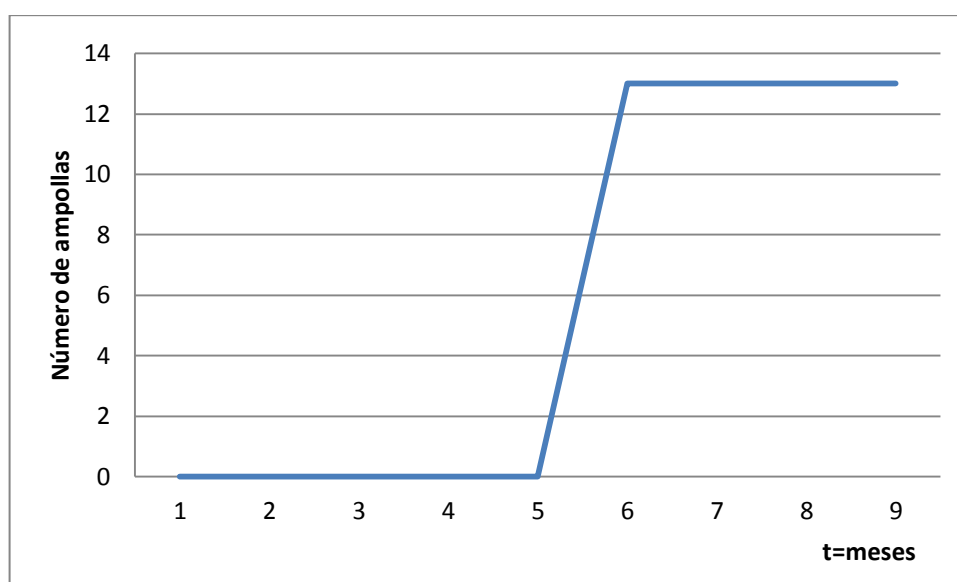


Figura 166. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio

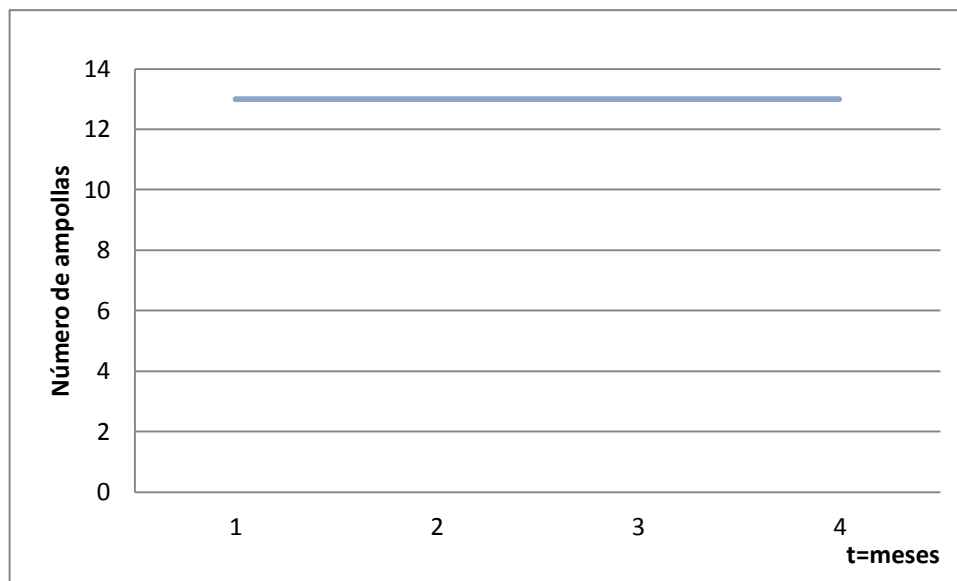


Figura 167. Detalle de la Figura 166 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo

En la Figura 168 se presenta la variación del diámetro de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.

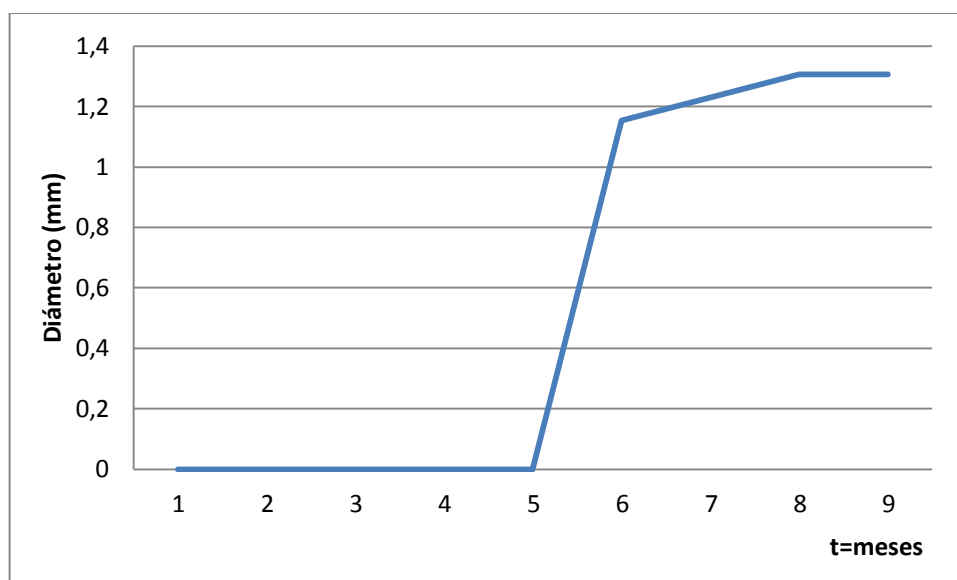


Figura 168. Crecimiento del diámetro medio de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio

-Crecimiento del número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 12. \quad y = -0,1641x^3 + 2,6028x^2 - 9,614x + 8,3571$$

-Crecimiento del número de ampollas desde Mayo hasta Agosto en la Zona 3 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 13. \quad y = 13$$

-Crecimiento del diámetro de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 14. \quad y = -0,0239x^3 + 0,3284x^2 - 1,039x + 0,7962$$

Por último, en la Zona 4 si hay cambios significativos; el número de ampollas ha sufrido muy poca variación pero algunas de las ampollas han comenzado a abrirse.

Tabla 76. Número de ampollas totales en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

		A	B	C	D
1	Nº ampollas	2	2	8	2
	Cerradas	1	1	4	1
	Abiertas	1	1	4	1
2	Nº ampollas	4	5	2	5
	Cerradas	2	3	1	2
	Abiertas	2	2	1	3
3	Nº ampollas	4	0	2	8
	Cerradas	2	0	1	2
	Abiertas	2	0	1	6
4	Nº ampollas	2	0	4	9
	Cerradas	0	0	1	3
	Abiertas	2	0	3	6

Tabla 77. Recuento del número de ampollas totales, cerradas y abiertas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

		%
Número total de ampollas	59	100
Número total de ampollas abiertas	24	40,7
Número total de ampollas cerradas	35	59,3

Los diámetros medios por cuadrícula de las ampollas abiertas y de las ampollas cerradas se muestran en la Tabla 78 y Tabla 79:

Tabla 78. Diámetro medio de las ampollas abiertas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D
1	2	5	2,75	1
2	3,25	4	5	1
3	3	0	3	1,5
4	1,5	0	2,67	1,75

Tabla 79. Diámetro medio de las ampollas cerradas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

	A	B	C	D
1	1	1	1,75	5
2	2	2	1	1
3	2	0	3	2
4	0	0	3	3,33

Los datos recogidos, se presentan en las Figura 169 y Figura 170:

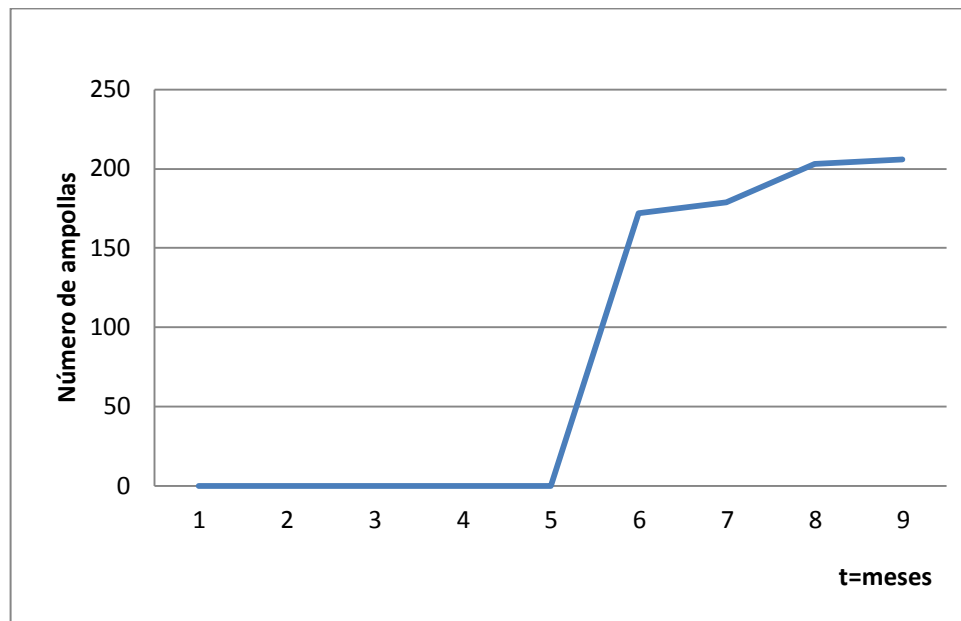


Figura 169. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio

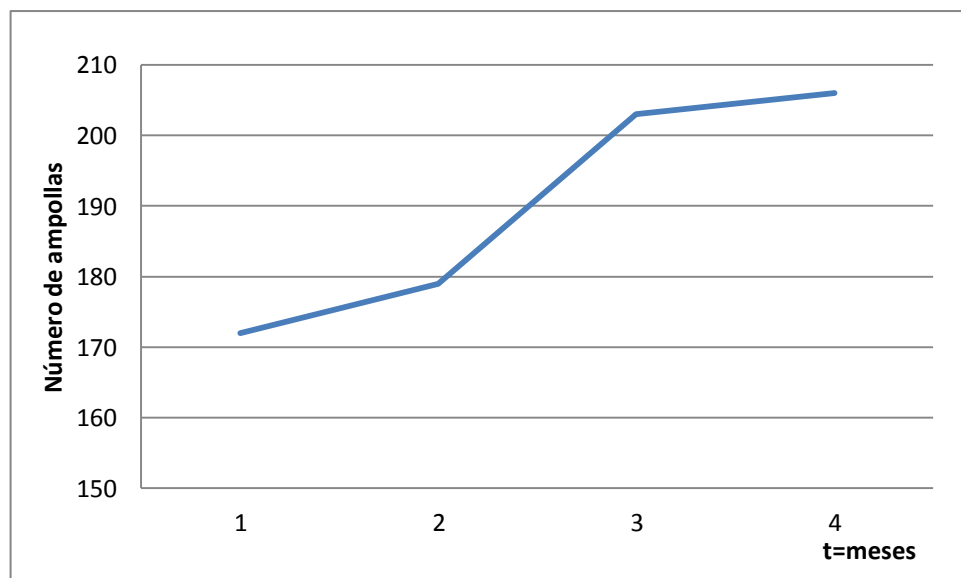


Figura 170. Detalle de la Figura 169 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo

En la Figura 171 se presenta la variación del diámetro medio de las ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.

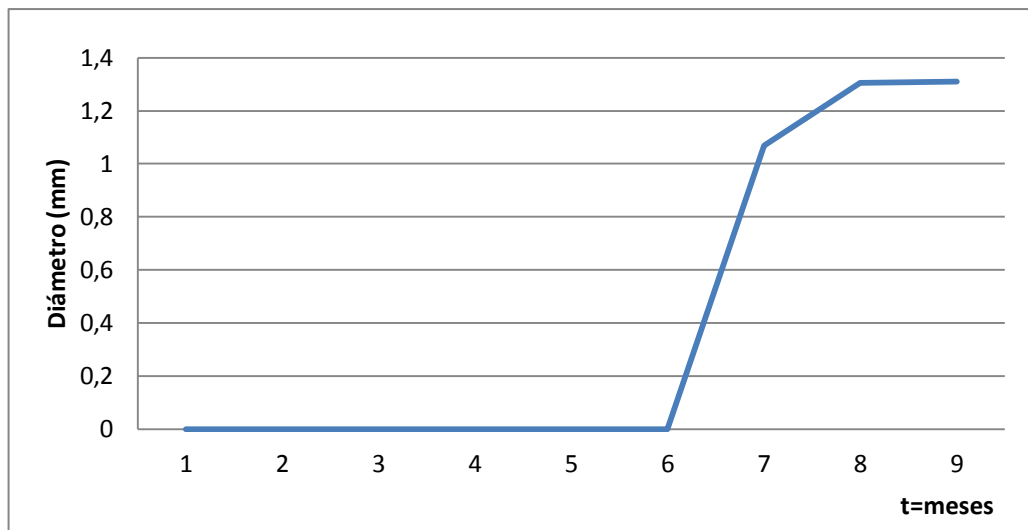


Figura 171. Crecimiento del diámetro medio de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio

-Crecimiento del número de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 15\ y = 2,0303x^3 - 33,521x^2 + 126,26x - 111,07$$

-Crecimiento del número de ampollas desde Mayo hasta Agosto en la Zona 4 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 16.\ y = -6,3333x^3 + 46,5x^2 - 88,167x + 220$$

-Crecimiento del diámetro de las ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio:

$$Ec\ 17.\ y = -0,0039x^3 + 0,0993x^2 - 0,4636x + 0,4673$$

Las ecuaciones que se han obtenido reflejan el crecimiento de ampollas y la variación del diámetro de éstas en las diferentes zonas que se limitaron en la probeta de aluminio; podemos observar que todas, a excepción de Ec.1 y Ec.2 son funciones polinómicas de grado 2 o grado 3; esto quiere decir que, tanto el crecimiento del número de ampollas como el crecimiento del diámetro, está muy ligado al tiempo.

Por último, hacemos un análisis comparativo de la Zona 1 y Zona 4 que son las dos zonas donde han aparecido las ampollas abiertas. En la Figura 170 comparamos el número total de ampollas, en la Figura 172 se muestran el número de ampollas abiertas y, por último, en la Figura 173 se presenta el número de ampollas cerradas.

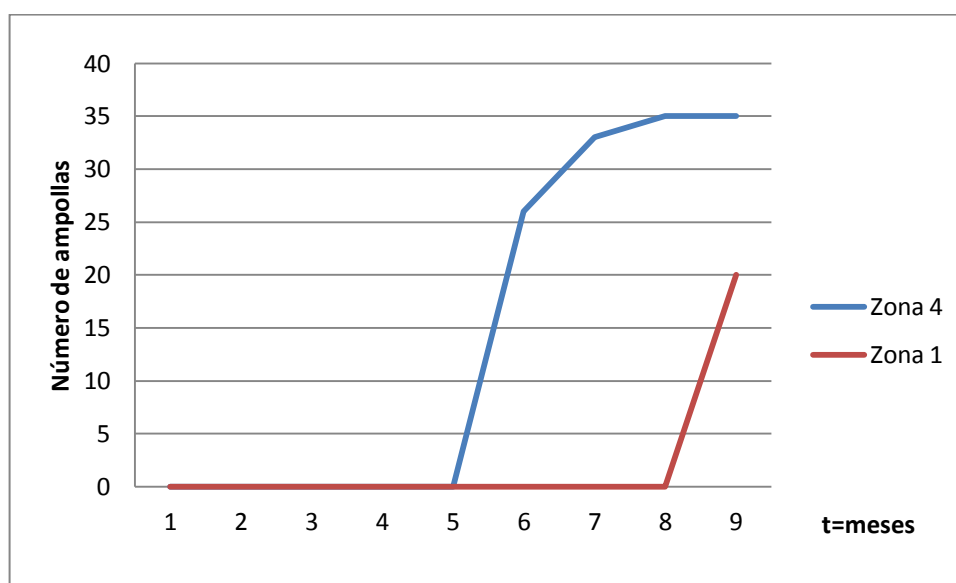


Figura 172.Comparativa del número de ampollas totales en la Zona 1 y en la Zona 4 de la probeta de aluminio

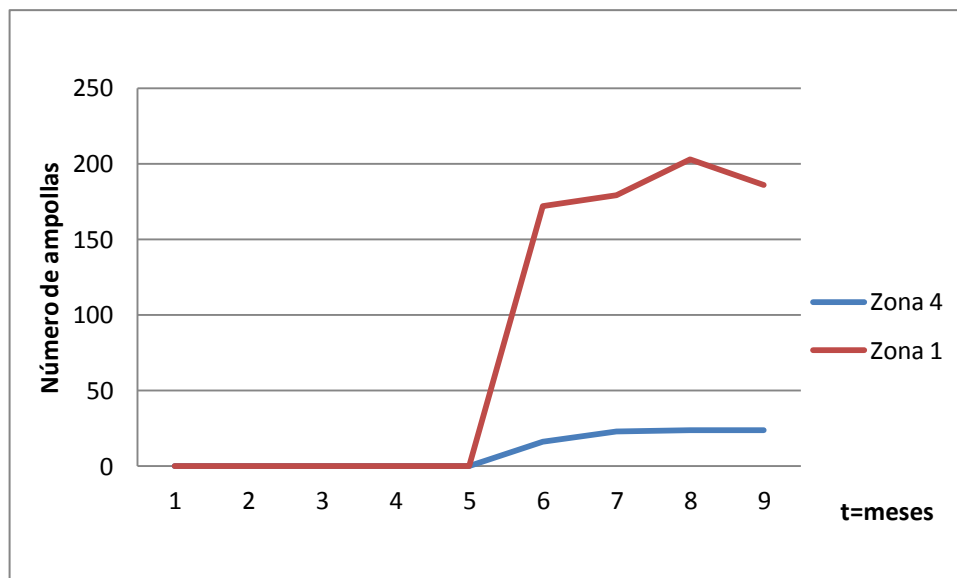


Figura 173.Comparativa del número de ampollas abiertas en la Zona 1 y en la Zona 4 de la probeta de aluminio

Hay que destacar en la probeta de aluminio es que en la zona en la que se había aplicado el protocolo correcto y una mano de pintura antiincrustante no se hay ninguna ampolla y no se aprecia ningún cambio en esta zona.

Por último, en la Figura 174 se muestra cómo una gráfica comparativa de cómo han variado los diámetros en las cuatro zonas de la probeta de aluminio estudiadas.

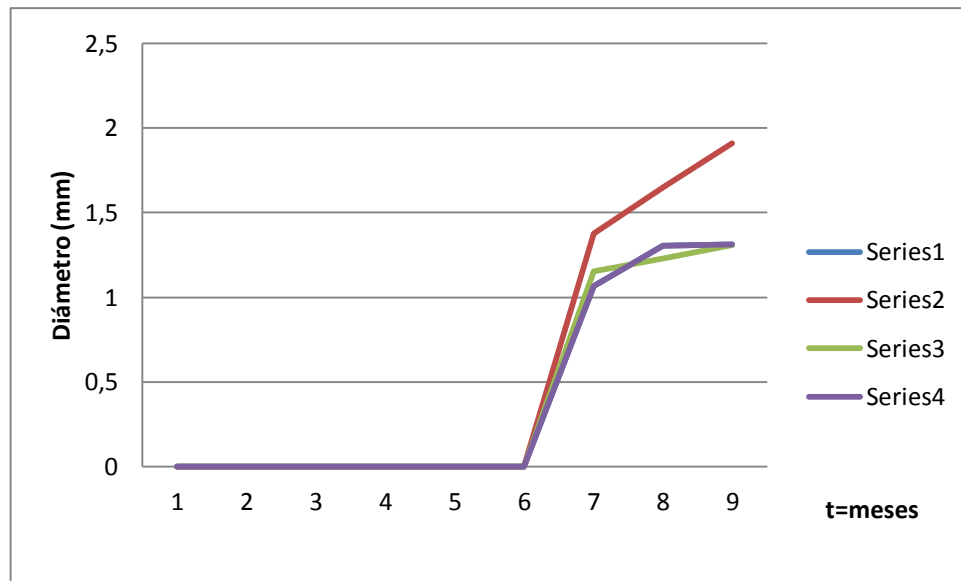


Figura 174. Comparativa del crecimiento del diámetro medio en Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4 de la probeta de aluminio

Capítulo 5-

Presupuesto

5.1 Introducción

En este capítulo se presentan los precios de los metales según la Bolsa de Metales de Londres (www.lme.com) que se han estudiado en este proyecto y el precio de los diferentes tipos de pinturas empleadas.

5.2 Precio de los metales

En este proyecto se ha trabajado con acero de construcción naval y con aluminio, así que a continuación se presentan los precios de estos metales según la Bolsa de Metales de Londres a fecha del 13 de Agosto del 2015.

El primer material usado para el estudio de la corrosión es el acero de construcción naval, en este apartado presentaremos características económicas de las barras de refuerzo de acero, de la chatarra de acero y de los tochos de acero.

Tabla 80. Precio de las barras de refuerzo de acero

[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

Contract Name	LME Steel Rebar		
Contract code	SR		
Contract type	Futures		
Delivery type	Cash settled		
Lot size	10 tonnes		
Contract perior	Monthly out to 15 months		
Precie quotation	US dollars per tonne		
Clearable currency	US dollars		
Minimun price fluctuation (tick size) per tonne		Outright	Carries
	LME select	\$0,50	\$0,01
	Inter-Office	\$0,01	\$0,01

Tabla 81.Precio de la chatarra de acero
[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

Contract Name	LME Steel Scrap		
Contract code	SC		
Contract type	Futures		
Delivery type	Cash settled		
Lot size	10 tonnes		
Contract perior	Monthly out to 15 months		
Precie quotation	US dollars per tonne		
Clearable currency	US dollars		
Minimun price fluctuation (tick size) per tonne		Outright	Carries
	LME select	\$0,50	\$0,01
	Inter-Office	\$0,01	\$0,01

Tabla 82.Precio de los tochos de acero

Contract	Price (\$/ton)
Cash Buyer	100,00
Cash Seller and Settlement	150,00
3 months Buyer	115,00
3 months Seller	165,00
15 months Buyer	195,00
15 months Seller	205,00

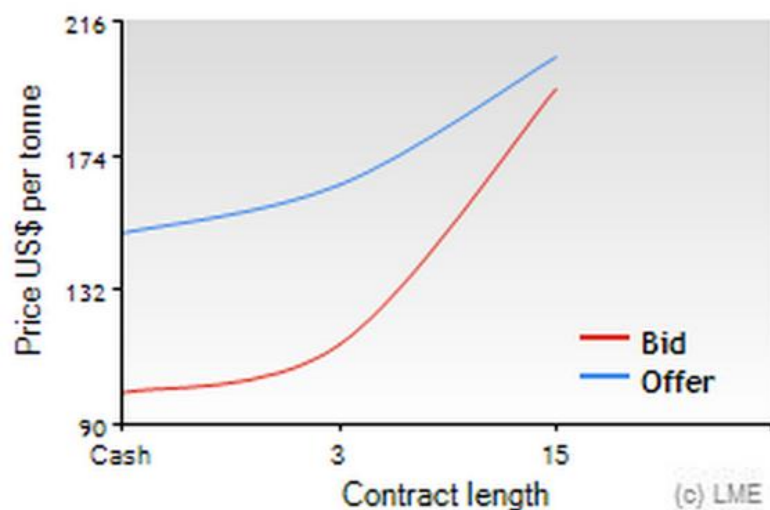


Figura 175. Curva oficial de precios de los tochos de aluminio
[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

El otro metal estudiado en este proyecto es el aluminio; su precio se presenta en la Tabla 83:

Tabla 83. Precio de la chapa de aluminio
[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

Contract	Price (\$/ton)
Cash Buyer	1546,50
Cash Seller and Settlement	1547,00
3 months Buyer	1581,50
3 months Seller	1582,00
Dec 1 Buyer	1645,00
Dec 1 Seller	1650,00
Dec 2 Buyer	1700,00
Dec 2 Seller	1705,00
Dec 3 Buyer	1757,00
Dec 3 Seller	1762,00

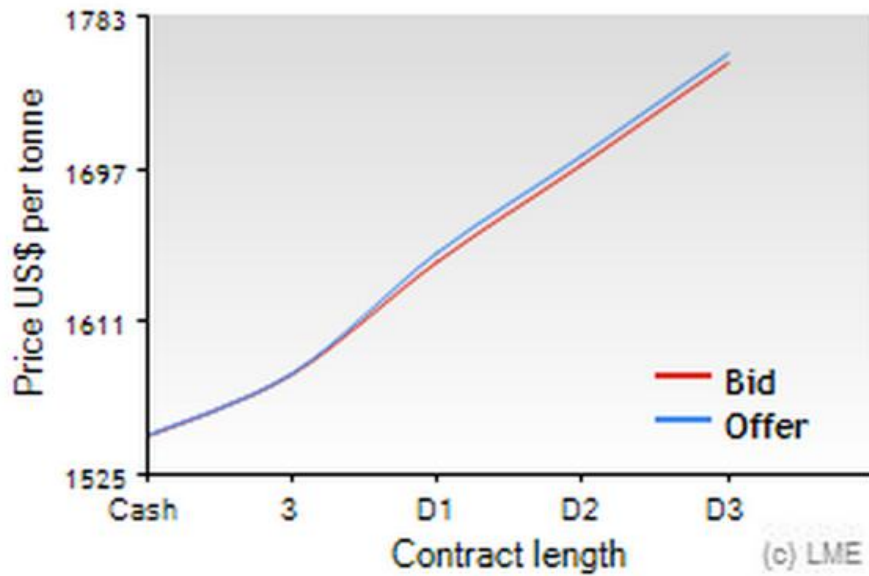


Figura 176. Curva oficial de precios del aluminio

[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

El aluminio sin alear tiene pocas aplicaciones en la industria por lo que se suelen emplear aleaciones base aluminio, por lo que a continuación también presentamos el precio del aluminio aleado:

Tabla 84. Precio del aluminio aleado

[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

Contract	Price (\$/ton)
Cash Buyer	1705,00
Cash Seller and Settlement	1715,00
3 months Buyer	1705,00
3 months Seller	1715,00
Dec 1 Buyer	1705,00
Dec 1 Seller	1715,00

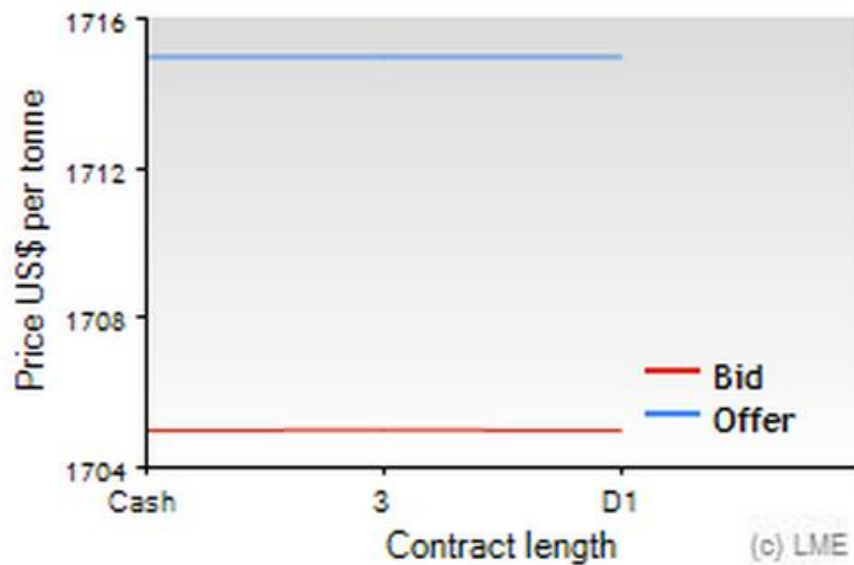


Figura 177. Curva oficial de precios del aluminio aleado

[Bolsa de Metales de Londres www.lme.com]

5.3 Pinturas especializadas diseñadas para tratamientos anticorrosivos en agua de mar

En este apartado se presenta el precio de los botes de pintura que han sido empleadas durante el estudio de la corrosión. En el mercado podemos encontrar botes de pintura de 0.750 litros, 1 litro, 2.5 litros, 5 litros y 20 litros, principalmente. Otras casas distribuidoras tienen bidones de con medidas intermedias. En el caso concreto de este proyecto, se ha tomado de referencia la protección frente a la corrosión de un barco.

Tabla 85. Precio de las pinturas empleadas en el proyecto

Tipos de pintura	Peso (litros)	Precio (€)
Imprimación epoxi fosfatante de zinc	12	111,96
Pintura epoxi 2 componentes	20	197,56
Pintura Boatguard EU antiincrustante	5	193,05

5.4 Coste final para aplicar el protocolo en un buque

Para calcular cuánto costaría pintar el casco de un barco siguiendo el protocolo establecido por la normativa UNE, cogemos el supuesto de un barco de 20 m de eslora y 4 m de calado. Suponemos que el casco es un rectángulo regular, por lo que obtendremos que el área total del casco del buque sea de 80 m². Dependiendo del tipo de pintura que apliquemos esta tendrá un rendimiento diferente; es decir, con 1 kg de imprimación fosfatante podremos pintar 5 m² del caso, mientras que con la pintura marina epoxi 9010 podremos pintar 7m², el menor rendimiento es de la pintura antiincrustante que con 1 kg podemos pintar 4m².

A continuación mostramos los Kg necesarios de cada pintura y el precio al que asciende la cantidad de pintura en cada caso se presenta en la Tabla 86:

Tabla 86. Detalle de los Kg necesarios para cada tipos de pintura el casco de un
buque

Tipo de pintura	Kg para toda la superficie del casco	Número de capas	Total kg
Imprimación fosfatante	16	2	32
Pintura a base de resina epoxi 9010	11,42	2	22,84
Pintura antiincrustante	20	1	20

Calculando el precio de cada Kg de pintura, obtenemos el precio total en función de los Kg necesarios de cada pintura; esto se presenta en la Tabla 87:

Tabla 87. Precio de cada pintura necesaria para pintar el casco de un buque

Tipo de pintura	€/kg	Kg	€ total
Imprimación fosfatante	9,33	32	298,56
Pintura a base de resina epoxi 9010	9,88	22,84	225,6592
Pintura antiincrustante	38,61	20	772,2

Por lo tanto el coste total para pintar un buque de 20 m de eslora y 4 m de calado es de:

Tabla 88. Precio total de la pintura siguiendo el protocolo atendiendo a la normativa

Imprimación fosfatante	Pintura a base de resina epoxi 9010	Pintura antiincrustante	Precio total (€)
298,56	225,65	772,20	1296,41

Actualmente, el protocolo establecido no se sigue en todas las empresas, en muchas ocasiones se prescinde de la pintura antiincrustante debido a su elevado coste; en muchas ocasiones las capas de pintura se reducen a dos capas de imprimación fosfatante y dos de pintura a base de resina epoxi. En estos casos el precio total para pintar el buque de nuestro caso se presenta en la Tabla 89.

Tabla 89. Precio total de la pintura sin seguir el protocolo establecido en la normativa

Imprimación fosfatante	Pintura a base de resina epoxi 9010	Precio total (€)
298,56	225,65	524.21

Comparando los dos resultados obtenidos, deducimos que al no aplicar el protocolo nos podemos ahorrar un 59,66%, pero este ahorro inicial supondrá unas pérdidas a medio y largo plazo, ya que la corrosión aparecerá antes de lo previsto y será necesario pintar el casco del buque de nuevo, en un periodo menor de 3 años. Aplicando el protocolo de pintado desde inicial, el desembolso es casi el doble, pero la corrosión tardará en aparecer una media de 10 años.

Capítulo 6-

Conclusiones

Tras el estudio del efecto del protocolo de pintado frente a la corrosión marina en dos sistemas metálicos empleados en construcción naval se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. Los elementos metálicos no protegidos con ningún sistema anticorrosivo no pueden tener ninguna función si están expuestos a un ambiente marino, ya que la corrosión aparecerá de manera muy rápida y el elemento perderá, en cuestión de meses, sus principales propiedades mecánicas lo que provocará el fallo de la estructura, que incluso puede ser súbito.
2. En los elementos metálicos que quieren ser protegidos frente a la corrosión, gracias a las pinturas especializadas, se debe eliminar cualquier tipo de producto de corrosión que haya podido aparecer; también es importante eliminar los restos microbiológicos y/o grasas y aceites de las que puedan estar impregnadas; puesto que de esta forma facilitaremos la adhesión correcta de la pintura a la superficies metálicas. Los elementos que no son limpiados correctamente podrán ser pintados, pero esta pintura no evitará que, a los pocos meses, aparezcan ampollas debajo de las capas de pintura, lo que provocará su posterior desprendimiento y, con ellos, comenzará un ataque localizado de la corrosión.
3. Es importante seguir la normativa establecida respecto a la aplicación del sistema de pintado, porque así evitaremos que la corrosión ataque a los metales y éstos estarán protegidos durante periodos más largos de tiempo. Respecto a la pintura deberemos tener en cuenta el número de capas que se deben aplicar y que las micras de la película seca no deben superar las 320 y procurar que la pintura haya sido aplicada con el instrumental necesario para que la pieza quede perfectamente cubierta por todas sus zonas.
4. En este caso concreto se ha observado cómo la corrosión comienza a atacar a las piezas por las zonas más débiles o las zonas donde las micras de la película seca de la pintura no son las idóneas; estas zonas suelen ser

esquinas y cantos; lo que puede haber provocado hasta una pérdida de material de un 14.93%, en el caso particular de la probeta D, que no fue pintado siguiendo la normativa.

5. Otra de las conclusiones principales que podemos sacar después del análisis de los resultados obtenidos tras 9 meses de estudio, es que la aparición de la corrosión, en aquellas probetas de acero de construcción naval que no recibieron las capas de pinturas exigidas en la normativa, la aparición de la corrosión se puede dividir en tres etapas principales. En la primera etapa donde se desarrollan ampollas bajo la pintura, lo que significa que hay una formación de corrosión bajo la superficie de la pintura. En la segunda etapa la capa de pintura que formaba la ampolla se desprende y comienza un ataque por corrosión localizada, lo que provocará más adelante una corrosión generalizada, que es la tercera etapa.
6. Por último, cabe destacar, referente a las probetas de acero de construcción naval que el ataque de la corrosión se centra en todos los casos en los cantos de las probetas o en la zona donde las piezas han sido sujetadas mediante hilo de nylon. Incluso en la probeta F, que era la probeta que había recibido un tratamiento a base de pinturas siguiendo todo el protocolo establecido aparece una ligera corrosión en uno de los cantos, esto es debido a que en estas zonas, por tener una geometría más compleja, las micras de pintura son menos que en el resto de la pieza y que las establecidas en la normativa.
7. Las probetas de acero de construcción naval que fueron limpiadas de forma correcta y recibieron el sistema de pintado correcto no han sufrido ningún cambio. En su superficie no hay ningún principio de corrosión localizada o generalizada, esto quiere decir que siguiendo el protocolo establecido por la normativa podemos retrasar la aparición de la corrosión y, con ello, la vida de los sistemas metálicos.

8. En la probeta de aluminio se ha observado cómo en la zona donde se aplicó una capa de pintura antiincrustante no hay ninguna ampolla; mientras que en el resto de la probeta las ampollas han aparecido debajo de las capas de pinturas; siendo la Zona 4 la que más ampollas presenta con un total de 206, ya que esta zona no fue limpiada y no se pintó según la normativa.
9. Las ampolla del aluminio, independientemente del tipo de tratamiento que recibió cada zona tienen un valor de 1,25 mm de diámetro. Las ampollas más grandes se encuentran en la Zona 1, donde la mayoría de las ampollas fueron explotadas de forma artificial; por otra parte la zona con las ampollas más pequeñas en la Zona 4, siendo el diámetro promedio de las ampollas de esta zona de 0,75 mm.
10. Al igual que en el acero de construcción naval, la corrosión en el aluminio se puede dividir en etapas; una primera etapa donde aparecen ampollas bajo las capas de pintura y, una segunda etapa, donde las ampollas se abren y la corrosión comienza a atacar al material de formas localizada.
11. El aluminio y el acero de construcción naval no son dos elementos metálicos comparables debido a sus características, pero ambos sistemas metálicos son susceptibles a la corrosión marina sino se les aplica ningún tratamiento o, si éste, se aplica de forma incorrecta.
12. En las probetas de aluminio y acero de construcción naval que han sido pintadas para el estudio de la corrosión marina en este Trabajo Fin de Grado los primeros síntomas de corrosión se presenta como ampollas bajo la pintura; estas ampollas iniciales en ambos sistemas metálicos tienen un diámetro medio de 0,1 mm.
13. En ambos materiales, el crecimiento del diámetro de las ampollas y el número de éstas es más elevado a partir de los 5 meses; el primer mes el crecimiento del diámetro de las ampollas y el número de éstas aumenta de

forma muy rápida. A los seis meses de estudio el crecimiento del diámetro y el número de ampollas sigue creciendo pero de manera más lenta.

14. Comparando los dos resultados económicos obtenidos, deducimos que al no aplicar el protocolo nos podemos ahorrar un 59,66%, pero este ahorro inicial supondrá unas pérdidas a medio y largo plazo, ya que la corrosión aparecerá antes de lo previsto y será necesario pintar el casco del buque de nuevo, en un periodo menor de 3 años. Aplicando el protocolo de pintado desde inicial, el desembolso es casi el doble, pero la corrosión tardará en aparecer una media de 10 años.

Con todas estas deducciones, podemos concluir que la aplicación correcta del protocolo establecido respecto a pinturas marinas se ha de seguir y aplicar de forma correcta, porque nos evitará pérdidas económicas y los metales estarán protegidos durante periodos de tiempo mucho más largos.

Capítulo 7-

Referencias Bibliográficas

1. Lambert, A. (2010). Barcos, su historia a través del arte y la fotografía. Londres: Editorial Planeta S.A.
2. Val, S. González, J. (2005) Tecnología Industrial II. Madrid: McGraw Hill
3. Askeland, D. (1998) Ciencia e ingeniería de los materiales. México: International Thomson
4. McIntosh, D. How to build a wooden boat?
5. Bonilla de la Corte, A. (1984). Construcción naval y servicio. Autor-editor.
6. Manual de referencia de pintado Hempel (2013)
7. Eyres, D. (2006). Ship Construction. Plymouth: BH
8. Molland, A. (2008) The maritime engineering reference book. Butterworth-Heinemann. Editor-Autor.
9. Rawson, K. Tupeer, C. (2001) Basic Ship Theory. Woburn: BH
10. Revie, R.N. Uhlig, H.H. (2008) Corrosion and corrosión control. USA: Wiley. 4th ed.
11. Devis, J.R. (2000). Corrosion, undestanding the basics. USA: ASM Int
12. Winston Revie, R. (2011). Uhlig's corrosión handbook. Ottawa: Wiley. 3th ed.
13. Academia Hütte de Berlín. (1980). Manual del Ingeniero, Vol. I. Berlín: Gustavo Gil.
14. Catálogo de pinturas marinas de la casa Sigma (2014)
15. Vailescu, E. Drob y P. Popa M.V. (2000) Characterizations of anodic oxide films formed don titanium and two ternary titanium alloys in hydrochloric acid solutions. *Materials and Corrosion*, 51, 413-417.
16. Hosni Ezuber, A. El-Houd A. El-Shawes, F. (2008). A study on the corrosion behavior of aluminum alloys in seawater. *Materials and design*, 29, 801-805.
17. Salah, H. (2013). High performance alkyd paints based on platy kaolin for corrosion protection of steel. *J. Coat. Technol. Res.*, 10 (2) 199–208.
18. Natesan, M. Selvaraj, S. Tharmakkannu Manickam, T. y Venkatachari G. (2008). Corrosion behavior of metals and alloys in marine industrial environment. *Science and technology of advanced materials*, 4 (7pp)
19. Ahnia, F. Demri, B. (2013). Evaluation of aluminum coatings in simulated marine environment. *Surface & Coatings Technology*, 220, 232-236.

20. Almedia, E. Santos, D, Fragata, F. de la Fuente, D y Morcillo, M. (2006). Anticorrosive painting for a wide spectrum of marine atmospheres: Environmental-friendly versus traditional paint systems. *Progress in Organic Coatings*, 57, 11–22.
21. Heinz, D. Richter, B. y Weber, S. (2000). Application of advanced materials for ship construction: Experiences and problems. *Materials and Corrosion*, 51, 407-412.
22. Sanchotene, R. Aleman, C. Ferrerita, C., Armelin, E. Zoppas, J. Meneguzzi, A. (2015). Smart Paint for anodic protection of steel. *Progress in Organic Coatings* 78, 116–123
23. Almedia, E. (1996). A proper way to specify new anticorrosive paint systems. *Progress in Organic Coatings*, 29, 247-255
24. Catálogo de pinturas marinas International
<http://www.yachtpaint.com/esp/diy/productos/anti-incrustantes/busqueda.aspx>
25. Corrosión y sus tipos <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>
26. Materiales para la construcción naval
<http://revistamarina.cl/revistas/1999/2/ortuzar.pdf>
27. Tecnología Naval
http://www.ulpgcparati.es/sites/default/files/Documentos/ULPGC_Grado_Ingenieria_Tecnologia_Naval.pdf
28. Industria naval y medio ambiente
<http://www.ingenierosnavales.com/sites/default/files/Libro%20Industria%20Naval%20y%20Medio%20Ambiente.pdf>
29. Pinturas marinas Nervion
http://www.nervion.com.mx/web/por_sector/marino.php
30. Historia de la construcción naval <http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>
31. Técnicas aplicadas a las maderas para su uso naval: desarrollo histórico en España
<http://www.armada15001900.net/tecnicas%20madera/tecnicasmadera.htm>
32. Corrosión <http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/Clase%20N12.pdf>
33. Corrosión <http://es.slideshare.net/mijares88/caracteristicas-corrosin-alfredo>

34. Tipos de corrosión

<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>

35. Tipos de corrosión y superficies corroídas en metales

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2023293/und_2/pdf/afiche_corrosion.pdf

36. Análisis del fenómeno de la corrosión en materiales de uso técnico: metales.
Procedimientos de protección

<http://www.eduinnova.es/monografias09/Nov09/Corrosion.pdf>

37. Preparación de las superficies <http://www.preguntaleasherwin.cl/2012/queson-las-normas-de-preparacion-de-superficies/>

38. Clasificación de los tipos de corrosión

<http://www.el-pintor.com/mas/oxido/oxido.htm>

39. Grados de corrosión <http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>

40. Corrosión en aceros

https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/josem/static/CORROSION.pdf

41. Diagramas de Pourbaix

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Pourbaix_Diagram_of_Iron.svg

42. Aceros para la construcción naval

http://industry.arcelormittal.com/prd_web/new_web_details.pl?code=H63&langlist=ES

43. Caracterización mecánica y microestructural de acero de construcción naval
sometido a cargas dinámicas por explosión

<http://www.shipjournal.co/index.php/sst/article/view/9/61>

44. Protección catódica con ánodos de sacrificio

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/079/htm/sec_7.htm

45. Cathodic protection

http://www.corrosionist.com/corrosion_control_methods_cathodic_protection.htm

46. Protección catódica

<http://www.cathodicprotection101.com/proteccion-catodica.htm>

47. Ánodos de sacrificio
http://www.cprac.org/various/cprac_manual_nautic/es/content.
48. Pérdidas por la corrosión
<https://journalmex.wordpress.com/2013/06/21/corrosion-prod>
49. Corrosión <http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/corrosion.htm>
50. Corrosión <http://materias.fi.uba.ar/6303/TPN3.pdf>
51. Tipos de corrosión
<http://www.preguntaleasherwin.cl/2012/%C2%BFcuales-son-los-diferentes-tipos-de-corrosion/>
52. Corrosión
<http://www.monografias.com/trabajos3/corrosion/corrosion.shtml>
53. Corrosión uniforme
http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/la_corrosion/cor
54. Grados de oxidación y limpieza de superficies
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11596/Capitulo7.pdf>
55. Tipos de corrosión en el acero
<http://www.ingepint.cl/docs/Grados%20Corrosion%20Acero.pdf>
56. Grados de corrosión <http://www.ingepint.cl/I-T-grados-corrosion.html>
57. Corrosión en metales
<http://www.sabelotodo.org/metalurgia/corrosion.html>
58. Fundamentos básicos de la protección catódica
http://catarina.udlap.mx/_upload/tales/documentos/mgd/hernandez_m_j/capitulo2.pdf
59. Protección catódica en tanques
<http://www.petrolnews.net/noticia.php?ID=11099f1c215d3cf180dce1aa809e11cc&r=8326>
60. Diseño de ánodos de sacrificio
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol7_n13/pdf/a06.pdf
61. Propiedades físicas y químicas de aluminio
http://www.ehowenespanol.com/propiedades-quimicas-fisicas-del-aluminio-lista_91187/

62. Obtención del aluminio
http://www.educ.ar/dinamico/UnidadHtml_get_a2884513-1b60-4cbb-9b13-144dc5e6685f/1
63. Aluminio <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>
64. Características físicas y química del aluminio
<http://www.monografias.com/trabajos13/tramat/tramat.shtml#ALUMIN>
65. Propiedades mecánico-químicas del aluminio
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>
66. Ficha técnica de la aleación 5083
http://www.capalex.co.uk/spanish/5083_alloy_sp.html
67. Propiedades del aluminio
<http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.%20Al>
68. Aceros: aleaciones hierro-carbono
<https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm>
69. Propiedades del acero <http://es.slideshare.net/acharlin/propiedades-del-acero>
70. Corrosión galvánica
<http://todoproduktividad.blogspot.com.es/2011/09/entendiendo-en-detalle-la-corrosion-y.html>
71. Metalurgia del acero <http://www.tecnoficio.com/docs/doc5.php>
72. Sector de la construcción naval
<http://www.spaintechnology.com/technology/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mda0/ntm5/~edisp/4539526.pdf>
73. Materiales empleados en la construcción de buques
<http://www.arghys.com/construccion/barcos-materiales.html>
74. Fundamentos básicos de la corrosión
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgd/hernandez_m_js/capitulo1.pdf
75. Corrosión y degradación de los materiales
<http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m210031/Tema%2022.pdf>

76. Corrosión <http://elrincondedefisicoquimica.blogspot.com.es/2014/03/corrosio>
77. Ensayos no destructivos
https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2012/455/42620/1/Documento8.pdf
78. Ensayo de flexión
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6229/06.pdf?sequence=7>
79. Ensayos no destructivos y sus aplicaciones
<http://www.tuv-nord.com/es/ensayos-no-destructivos/otras-tecnicas-ensayos-no-destructivos-end-504.htm>
80. Métodos para la extracción del cobre
<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19666/Capitulo6.pdf>
81. Extracción y refinamiento del cobre
http://www.cimsaww.com/internet/es/cupropedia/extracci_n_de
82. Propiedades químicas del cobre
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm>
83. Cobre puro <http://www.uantof.cl/cobre/pdfs/capitulo2opt.pdf>
84. Metalurgia del cobre
http://www.aim.es/publicaciones/bol2/13_Metalurgia_Cobre.pdf
85. Construcción naval <http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>
86. Características del titanio
<https://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/tperiodica/elementos2/ti.htm>
87. Grados del titanio <http://www.smp.es/gradosti>
88. Formas de obtención del titanio
<http://www.titanio.com.ar/formas-de-obtencion.html>
89. Propiedades del titanio <http://www.titanio.com.ar/algunas-propiedades-del-titanio.html>
90. Propiedades del titanio
<http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=PropiedadesdelTitanio&LN=ES>
91. Propiedades del titanio <http://www.smp.es/propti>
92. Titanio <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ti.htm>

93. Mecanizado del latón <http://www.kuzudecoletaje.es/el-laton-y-su-mecanizado/>
94. Latón http://www.emac.es/descargas/informes_tecnicos/FT_LATON.pdf
95. Latón <http://www.barradelaton.com/>
96. Latón <http://www.delmetal.com.ar/productos/laton.html>
97. Bronce <http://www.ecured.cu/index.php/Bronce>
98. Aleaciones del cobre
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html#seccion4>
99. Efecto de la contaminación atmosférica en las esculturas de bronce
<http://eprints.ucm.es/1722/1/AH1003301.pdf>
100. Propiedades físicas del cobre
<http://quimica.laguia2000.com/quimica-inorganica/propiedades-fisicas-del-cobre>
101. Propiedades química y toxicidad de los metal
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf>
102. Propiedades físicas y químicas del cobre
http://www.ehowenespanol.com/propiedades-fisicas-quimicas-del-cable-cobre-lista_92973/
103. Bolsa de Metales de Londres www.lme.com
104. Congreso sobre el nuevo material híbrido Malecon
http://oa.upm.es/4229/1/INVE_MEM_2008_59131.pdf
105. Protección catódica
<http://www.wwiprocat.com/?gclid=COW93J3b3ccCFUcTwwodWSQJUA>

Anexos I-

Listado Figuras

• Figura 1. Protocolo establecido para ver el comportamiento ante la corrosión del acero de construcción naval.....	10
• Figura.2 Probeta de acero de construcción naval empleada en este estudio.....	10
• Figura.3 Protocolo establecido para ver el comportamiento ante la corrosión de una aleación con base de aluminio.....	11
• Figura 4 .Probeta de aluminio empleada en este estudio.....	12
• Figura 5. Réplica de un galeón en la Facultad de Náutica de Barcelona (España).....	16
• Figura 6. El Queen Mary en el astillero de John Brown. 1936.....	17
• Figura 7. Buque Cantabria de la Armada Española.....	18
• Figura 8. Fragata F 110 de la Armada Española.....	18
• Figura 9. Diagrama de procesos para la fabricación de productos de acero.....	19
• Figura 10. Diagrama parcial hierro-carbono.....	21
• Figura 11. Elementos estructurales bajos en carbono.....	27
• Figura 12. Elementos estructurales altos en carbono.....	28
• Figura 13. Pieza de aluminio empleada en la construcción del barco Panoramic por la empresa Metaltec (Cantabria, España).....	29
• Figura 14. Embarcación de aluminio.....	30
• Figura 15. Proceso de obtención del aluminio.....	31
• Figura 16. Diagrama fase del sistema Aluminio-Magnesio.....	32
• Figura 17. Producto obtenido del cobre.....	37
• Figura 18. Proceso de obtención del cobre.....	38
• Figura 19. Hélice de bronce.....	42
• Figura 20. Diagrama de fase del bronce.....	46
• Figura 21. Diagrama fase del latón.....	47
• Figura 22. Mineral del que se obtiene el titanio.....	50
• Figura 23. Diagrama de fases Titanio-Aluminio.....	52
• Figura 24. Embarcación moderna construida con madera.....	54
• Figura 25. Esquema de una quilla construida con madera.....	55

• Figura 26. Elementos estructurales de un buque a base de madera.....	56
• Figura 27. Casco de un buque recubierto con madera.....	57
• Figura 28. Esquema de los diferentes ensayos de caracterización de los materiales.....	63
• Figura 29. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante ultrasonidos.....	68
• Figura 30. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante partículas magnéticas (I).....	69
• Figura 31. Esquema del funcionamiento del ensayo mediante partículas magnéticas (II).....	70
• Figura 32. Partículas detectadas mediante partículas magnéticas.....	71
• Figura 33. Pieza preparada para realizar el ensayo con líquidos penetrantes.....	72
• Figura 34. Grietas detectadas mediante el ensayo con líquidos penetrantes.....	75
• Figura 35. Esquema del funcionamiento del ensayo por corriente inducida.....	76
• Figura 36. Deformación que sufre la probeta tras el ensayo de Tracción.....	79
• Figura 37. Probetas empleadas en el ensayo de tracción.....	80
• Figura 38. Diagrama de tracción del acero.....	81
• Figura 39. Esquema del ensayo Brinell.....	83
• Figura 40. Esquema del ensayo Rockwell.....	83
• Figura 41. Esquema del ensayo Vickers.....	84
• Figura 42. Esquema del ensayo de plegado.....	85
• Figura 43. Esquema del ensayo de flexión.....	86
• Figura 44. Esquema del ensayo de torsión.....	86
• Figura 45. Esquema del ensayo de cizalla.....	87
• Figura 46. Esquema del ensayo con el Péndulo Charpy.....	88
• Figura 47. Esquema del ensayo de fatiga de una viga voladiza Rotatoria.....	89

• Figura 48. Corrosión en una barandilla en Avenida Manuel García Lago (Santander-Cantabria).....	90
• Figura 49. Corrosión en un banco en los Jardines de Piquío (Santander-Cantabria).....	91
• Figura 50. Diagrama de Pourbaix.....	92
• Figura 51. Clasificación de los tipos de corrosión.....	94
• Figura 52. Casco de un buque con corrosión generalizada.....	95
• Figura 53. Pieza con un grado A de corrosión.....	96
• Figura 54. Pieza con una grado B de corrosión.....	97
• Fig 55. Pieza con una grado C de corrosión.....	97
• Fig 56. Pieza con una grado D de corrosión.....	98
• Figura 57 .Corrosión galvánica de una chapa de acero galvanizado que se encuentra en contacto con acero inoxidable.....	99
• Figura 58. Picaduras en pieza una pieza de aluminio.....	100
• Figura 59. Esquema gráfico de los tipos de corrosión por picadura.....	100
• Figura 60. Ejemplo de la desinfección del latón.....	101
• Figura 61. Ejemplo esquemático de cómo la erosión ataca a los elementos metálicos.....	102
• Figura 62. Elemento metálico que ha sufrido corrosión por cavitación.....	103
• Figura 63. Tornillo y tuerca que presentan corrosión en resquicios.....	104
• Figura 64. Esquema gráfico de la aparición de grietas en un elemento metálico.....	104
• Figura 65. Tornillos que han sufrido una corrosión por fatiga.....	105
• Figura 66. Ejemplo de corrosión por fricción.....	106
• Figura 67. Ejemplo de corrosión intergranular.....	107
• Fig 68. Corrosión microbológica en un elemento metálico.....	108
• Figura 69. Protección catódica con ánodos de sacrificio en la popa de un buque.....	110
• Figura 70. Mecanismo de protección catódica con ánodo de sacrificio.....	111
• Figura 71. Gráfico con las temperaturas máximas que pueden soportar las pinturas marinas.....	122

- Figura 72. Viga de doble T donde la parte roja representa la laminación del metal.....127
- Figura 73. En la izquierda la viga tiene los cantos de 90° y en la derecha los cantos son redondeados.....128
- Figura 74. Prueba para comprobar si una superficie está grasa.....129
- Figura 75. Esquema de proceso de chorreado con arena al aire libre...131
- Figura 76. Granalla empleada en el proceso de chorreado con granalla.....132
- Figura 77. Cepillo de cerdas de alambre empleado en la limpieza de superficies.....135
- Figura 78. Equipo Airless.....136
- Figura 79. Medidor de película seca.....137
- Figura 80. Medidor película húmeda.....138
- Figura 81. Probeta de acero de construcción naval AH36.....144
- Figura 82. Probeta de aluminio 5083 empleado en el estudio de la corrosión.....145
- Figura 83. Resumen del proceso de limpieza y el proceso de pintado de las probetas de acero de construcción naval.....152
- Figura 84. Probetas durante el proceso de pintado.....153
- Figura 85. Probeta del Grupo A.....154
- Figura 86. Probeta del Grupo B.....155
- Figura 87. Probeta del Grupo C.....156
- Figura 88. Probeta del Grupo D.....157
- Figura 89. Probeta del Grupo E.....158
- Figura 90. Probeta del Grupo F.....159
- Figura 91. Probeta de aluminio.....160
- Figura 92. Probeta de aluminio antes de ser pintada.....161
- Figura 93. Probeta de aluminio durante la primera parte del proceso de pintado.....162
- Figura 94. Probeta de aluminio durante la segunda parte del proceso de pintado.....160

• Figura 95. Probeta de aluminio durante la tercera parte del proceso de pintado.....	163
• Figura 96. Reverso de la probeta de aluminio tras el proceso completo de pintado.....	163
• Figura 97. Esquema de pintado de la pieza de aluminio.....	164
• Figura 98. Mapa de la Bahía de Santander.....	165
• Figura 99. Vista área de la Bahía de Santander.....	165
• Figura 100. Vista de la Bahía de Santander.....	166
• Figura 101. Probeta tipo empleada en el estudio de la corrosión.....	168
• Figura 102. Probetas de acero de construcción naval sumergidas en agua de mar.....	170
• Figura 103. Probeta tras una semana en agua de mar.....	171
• Figura 104 .Probeta tras dos semanas en agua de mar.....	171
• Figura 105. Probeta A durante el proceso de limpiado.....	172
• Figura 106. probeta pintada con dos capas de imprimación.....	172
• Figura 107. Probeta del Grupo A con dos capas de imprimación y dos de pintura epoxi.....	172
• Figura 108. Proceso de pintado de la pieza B.....	173
• Figura 109 .Pieza B pintada.....	173
• Figura 110 .Probeta C.....	174
• Figura 111. Probeta D en proceso de pintado.....	174
• Figura 112. Probeta D tras el proceso de pintado.....	175
• Figura 113. Probeta E tras la primera capa de pintura.....	175
• Figura 114. Probeta E tras la aplicación de todas las capas de pintura.....	175
• Figura 115 .Probeta D durante el proceso de pintado.....	176
• Figura 116. Probeta D tras el proceso de pintado.....	176
• Figura 117. Probetas de acero de construcción naval sumergidas en agua de mar tras recibir un tratamiento a base de pinturas marinas.....	177
• Figura 118. Probeta A tras un mes en agua de mar.....	178
• Figura 119. Probeta A tras seis meses en agua de mar.....	178
• Figura 120. Probeta A tras 8 meses sumergida en agua de mar.....	178

- Figura 121. Probeta B tras un mes en agua de mar.....179
- Figura 122. Probeta B tras seis meses en agua de mar.....179
- Figura 123. Probeta B tras 8 meses sumergida en agua de mar.....180
- Figura 124. Probeta C tras un mes en agua de mar.....180
- Figura 125. Probeta C tras seis meses en agua de mar.....181
- Figura 126. Probeta C tras 8 meses sumergida en agua de mar.....181
- Figura 127. Probeta D tras un mes en agua de mar.....182
- Figura 128. Probeta D tras seis meses en agua de mar.....182
- Figura 129. Detalle de la probeta D tras 8 meses sumergida en agua de mar.....182
- Figura 130. Probeta E tras un mes en agua de mar.....183
- Figura 131. Probeta E tras seis meses en agua de mar.....183
- Figura 131. Probeta E tras 8 meses sumergida en agua de mar.....184
- Figura 132. Probeta D tras un mes en agua de mar.....186
- Figura 133. Probeta D tras seis meses en agua de mar.....187
- Figura 134. Detalle de la probeta D.....187
- Figura 135. Probeta de aluminio antes de ser sumergida.....193
- Figura 136. Área perdida debido a la corrosión en las probetas de construcción naval.....190
- Figura 137. Probeta de aluminio antes de ser sumergida.....192
- Figura 138. Rayones realizados en la probeta de aluminio.....193
- Figura 139. Probeta de aluminio sumergida en agua de mar.....193
- Figura 140. Probeta de aluminio tras 4 meses sumergida.....194
- Figura 141. Subdivisiones de la probeta de aluminio.....195
- Figura 142. Detalle de la placa de aluminio durante el proceso de pintado.....196
- Figura 143. Chapa de aluminio durante el proceso de pintado.....197
- Figura 144. Probeta de aluminio tras el proceso de pintado.....197
- Figura 145. Probeta de aluminio sumergida en agua de mar.....198
- Figura 146. Probeta de aluminio tras un mes sumergida en agua de mar....199
- Figura 147. Zonas delimitadas en la parte delantera de la placa de

aluminio.....	200
• Figura 148.Zonas delimitadas en la parte trasera de la placa de aluminio..	200
• Figura 149.Detalle de la Zona 1.....	201
• Figura 150.Detalle de la Zona 2.....	203
• Figura 151.Detalle de la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	205
• Figura 152.Detalle de la Zona 2 de la placa de aluminio.....	207
• Figura 153.Detalle de la Zona 4 de la probeta de aluminio.....	209
• Figura 154.Detalle de la Zona 4 de la probeta de aluminio.....	213
• Figura 155. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	215
• Figura 156.Detalle de la Figura 155 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo.....	216
• Figura 157. Número de ampollas abiertas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	217
• Figura 158. Detalle de la Figura 157 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo.....	217
• Figura 159. Número de ampollas cerradas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	218
• Figura 160.Detalle de la Figura 159 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo.....	218
• Figura 161.Crecimiento del diámetro las ampollas cerradas de la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	219
• Figura 162.Crecimiento del diámetro de las ampollas abiertas de la Zona 1 de la probeta de aluminio.....	220
• Figura 163. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.....	221
• Figura 164. Detalle de la Figura 163 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo.....	222
• Figura 165. Crecimiento del diámetro medio de las ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.....	222

- Figura 166. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.....224
- Figura 167. Detalle de la Figura 166 remarcando el comportamiento de la probeta los últimos meses de ensayo.....225
- Figura 168. Crecimiento del diámetro medio de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.....225
- Figura 169. Crecimiento del número de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....228
- Figura 170. Detalle de la Figura 169 remarcando el comportamiento de la probeta de aluminio los últimos meses de ensayo.....228
- Figura 171. Crecimiento del diámetro medio de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....229
- Figura 172.Comparativa del número de ampollas totales en la Zona 1 y en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....230
- Figura 173.Comparativa del número de ampollas abiertas en la Zona 1 y en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....231
- Figura 174.Comparativa del crecimiento del diámetro medio en Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4 de la probeta de aluminio.....232
- Figura 175. Curva oficial de precios de los tochos de aluminio.....237
- Figura 176.Curva oficial de precios del aluminio.....238
- Figura 177. Curva oficial de precios del aluminio aleado.....239

Anexo II-

Listado Tablas

- Tabla 1. Composición química de aceros utilizados en el casco de un buque.....22
- Tabla 2. Componentes del acero de alta resistencia para cascos de buques según el reglamento de las sociedades de clasificación.....23
- Tabla 3. Características mecánicas del acero para construcción naval.....25
- Tabla 4. Propiedades mecánicas de los aceros HSLA.....25
- Tabla 5. Propiedades mecánicas de los aceros de alta resistencia.....26
- Tabla 6. Principales elementos de aleación presentes en las aleaciones de aluminio.....33
- Tabla 7. Composición química del aluminio 5083 (%peso).....34
- Tabla 8. Carga de rotura, límite elástico, alargamiento y dureza de las aleaciones de aluminio.....35
- Tabla 9. Características Mecánicas del Cobre.....41
- Tabla 10. Características físicas del bronce.....42
- Tabla 11. Ejemplo de la clasificación del bronce según la norma UNE.....43
- Tabla 12. Propiedades mecánicas del bronce.....44
- Tabla 13. Composición química de los diferentes grados de cobre.....45
- Tabla 14. Propiedades físicas del latón.....48
- Tabla 15. Características mecánicas de latón.....48
- Tabla 16. Serie electroquímica de los metales.....112
- Tabla 17. Características físicas y electroquímicas del zinc, magnesio y aluminio.....114
- Tabla 18. Composición química del acero de construcción naval AH36.....143
- Tabla 19. Composición química del aluminio 5083.....145
- Tabla 20. Propiedades físicas de la imprimación epoxi fosfato de zinc.....146
- Tabla 21. Propiedades de la película seca de la imprimación epoxi fosfato de zinc.....147
- Tabla 22. Propiedades físicas de la pintura epoxi de dos componentes.....147
- Tabla 23. Propiedades de la película seca de la pintura epoxi de

dos componentes.....	146
• Tabla 24. Propiedades físicas de la pintura antiincrustante.....	146
• Tabla 25. Información sobre el tiempo de secado y pintado de la pintura.....	146
• Tabla 26. Esquema de los diferentes sistemas de pintado aplicados en las probetas.....	148
• Tabla 27. Sistema de pintura para aceros al carbono de baja aleación para categorías de corrosividad.....	149
• Tabla 28. Parámetros químicos del agua de la Bahía de Santander.....	165
• Tabla 29. Medidas iniciales de las probetas de acero de construcción naval.....	184
• Tabla 30. Área de las probetas de acero de construcción naval.....	184
• Tabla 31. Medidas de la probeta C.....	184
• Tabla 32. Nuevo área de la pieza C.....	185
• Tabla 33. Nuevas medidas probeta E1.....	185
• Tabla 34. Nuevas medidas probeta E2.....	185
• Tabla 35. Áreas de las picaduras de la pieza E1.....	186
• Tabla 36. Tabla 32. Nuevo área de la pieza E1.....	186
• Tabla 37. Nuevo área de la pieza E2.....	186
• Tabla 38. Nuevas medidas de la probeta D1.....	187
• Tabla 39. Nuevas medidas de la probeta D2.....	187
• Tabla 40. Áreas de las picaduras de la pieza D2.....	187
• Tabla 41. Nueva área de la pieza D1.....	188
• Tabla 42. Nueva área de la pieza D2.....	188
• Tabla 43. Ampollas en la Zona 1.....	199
• Tabla 44. Número total de ampollas en la Zona 1.....	199
• Tabla 45. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 1.....	199
• Tabla 46. Ampollas en la Zona 2.....	200
• Tabla 47. Ampollas en la Zona 3.....	200
• Tabla 48. Ampollas en la Zona 4.....	201

- Tabla 49.Ampollas en la Zona 1.....203
- Tabla 50.Número total de ampollas.....204
- Tabla 51.Diámetro medio de las ampollas abiertas en la Zona 1.....205
- Tabla 52.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas cerradas en la
Zona 2 de la probeta de aluminio.....205
- Tabla 53.Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta
de aluminio.....205
- Tabla 54.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la
Zona 2 de la probeta de aluminio.....206
- Tabla 55. Número de ampollas en la Zona 3 de la probeta
de aluminio.....207
- Tabla 56.Diámetro medio por cuadrícula de la Zona 3 de la probeta
de aluminio.....207
- Tabla 57. Número de ampollas en la Zona 4 de la probeta
de aluminio.....207
- Tabla 58.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 4
de la probeta de aluminio.....208
- Tabla 59.Número de ampollas en la Zona 1 de la probeta
de aluminio.....209
- Tabla 60.Recuento del número total de ampollas en la Zona 1 de la
probeta de aluminio.....209
- Tabla 61.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas abiertas en la
Zona 1 de la probeta de aluminio.....210
- Tabla 62.Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas cerradas en la
Zona 1 de la probeta de aluminio.....210
- Tabla 63.Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.....210
- Tabla 64.Diámetro medio por cuadrícula de la ampollas en la
Zona 2 de la probeta de aluminio.....211
- Tabla 65.Número de ampollas en la Zona 3 de la probeta
de aluminio.....211

- Tabla 66. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.....213
- Tabla 67. Número de ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....214
- Tabla 68. Diámetro medio por cuadrícula de las ampollas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....214
- Tabla 69. Número de ampollas en la Zona 1 de la probeta de aluminio.....215
- Tabla 70. Diámetro medio de las ampollas abiertas por cuadrícula.....215
- Tabla 71. Diámetro medio de las ampollas cerradas por cuadrícula.....216
- Tabla 72. Número de ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.....219
- Tabla 73. Diámetro medio de las ampollas en la Zona 2 de la probeta de aluminio.....219
- Tabla 74. Número de ampollas en la Zona 3 de la probeta de aluminio.....218
- Tabla 75. Diámetro medio de las ampollas de la Zona 3 de la probeta de aluminio.....218
- Tabla 76. Número de ampollas totales en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....220
- Tabla 77. Recuento del número de ampollas totales, cerradas y abiertas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....220
- Tabla 78. Diámetro medio de las ampollas abiertas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....221
- Tabla 79. Diámetro medio de las ampollas cerradas en la Zona 4 de la probeta de aluminio.....221
- Tabla 80. Características económicas de las barras de refuerzo de acero....225
- Tabla 81. Características económicas de la chatarra de acero.....226
- Tabla 82. Precio de los tochos de acero.....226
- Tabla 83. Precio del aluminio.....227
- Tabla 84. Precio del aluminio aleado.....228
- Tabla 85. Precio de las pinturas empleadas en el proyecto.....230

- Tabla 86. Kg necesarios de cada tipo de pintura para pintar el casco
de un buque.....230
- Tabla 87. Precio de cada pintura necesaria para pintar el casco
de un buque.....231
- Tabla 88. Precio total de la pintura.....231

Anexo III- Normativa

1. UNE-EN ISO 12944-1 Pinturas y barnices: protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores

Anexo IV:

Aviso responsabilidad UC

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros,

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.”