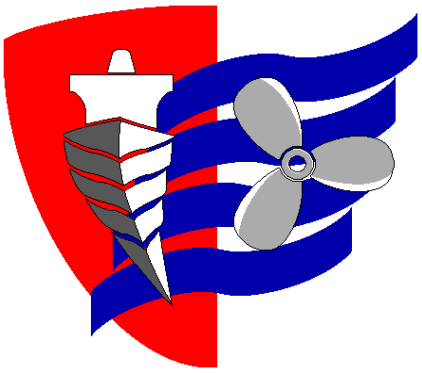
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

TRATAMIENTOS ANTICORROSIVOS A BASE DE PINTURAS ESPECIALIZADAS PARA SISTEMAS METÁLICOS APLICADOS A UNA SALA MÁQUINAS DE UN BUQUE

ANTICORROSIVE TREATMENTS BASED ON SPECIFIC COATING FOR METALLIC SYSTEMS IN AN ENGINE ROOM

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Autor: Miguel Angel Cuesta Díaz

Directora: María Victoria Biezma Moraleda

Octubre- 2017

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Grado

TRATAMIENTOS ANTICORROSIVOS A BASE DE PINTURAS ESPECIALIZADAS PARA SISTEMAS METÁLICOS APLICADOS A UNA SALA MÁQUINAS DE UN BUQUE

ANTICORROSIVE TREATMENTS BASED ON SPECIFIC COATING FOR METALLIC SYSTEMS IN AN ENGINE ROOM

Para acceder al Título de Grado en

INGENIERÍA MARÍTIMA

Octubre - 2017

Índice

Índice de Figuras vi

Índice de Tablas viii

Glosario ix

Resumen xii

Abstract xiv

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1

1.2. FOCALIZACIÓN DEL PROBLEMA: SALA DE MÁQUINAS 4

2. METODOLOGÍA Y OBJETIVOS 9

2.1. INTRODUCCIÓN 9

2.2. SALA DE MAQUINAS 9

2.3. MARCO NORMATIVO Y JUSTIFICACIÓN 15

2.4. OBJETIVOS 17

2.4.1. Diseño 17

2.4.2. Aplicación 17

2.4.3. Inspección 18

2.4.4. Mantenimiento 18

2.4.5. Otros objetivos 18

3. MATERIALES 20

3.1. INTRODUCCIÓN 20

3.2. DEFINICIÓN DE SALA DE MÁQUINAS 21

3.2.1. Introducción 21

3.2.2. Equipamiento según sociedades clasificadoras 22

3.2.3. Planta propulsora y sistemas 24

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES 25

3.3.1. Materiales de los equipos 25

3.3.2. Tuberías 28

3.3.3. Tanques 32

3.3.4. Estructuras 34

4. DISEÑO 36

4.1. INTRODUCCIÓN 36

4.2. AMBIENTE 38

4.2.1 Definición de ambiente 38

4.2.2 Vida Útil 42

4.3. DISEÑO DE EQUIPOS 43

4.3.1 Accesibilidad 44

4.3.2 Holguras 46

4.3.3 Prevenir retención y depósitos de agua 47

4.3.4 Bordes y soldadura 48

4.3.5 Uniones longitudinales con transversal 49

4.3.6 Prevención de corrosión galvánica..... 50

4.3.7 Partes rozantes 51

4.4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL 51

4.4.1 Marco normativo..... 52

4.4.2 Punto de inicio..... 54

4.4.3 Limpieza de superficie..... 56

4.4.3.1. Limpieza mediante agua, vapor, solventes..... 56

4.4.3.2. Limpieza mediante herramientas de mano 57

4.4.3.3. Limpieza mediante chorro abrasivo..... 58

4.4.4. Preparación de bordes y soldaduras..... 60

4.4.5. Rugosidad 61

4.4.6. Limpieza antes de aplicación 63

4.5. SELECCIÓN DE PINTURAS 64

4.5.1. Premisas iniciales..... 64

4.5.2. Procedimientos..... 66

4.5.2.1. Criterios comunes en los procedimientos 66

4.5.2.2. Procedimiento 1..... 67

4.5.2.3. Procedimiento 2-3..... 68

4.5.2.4. Procedimiento 4..... 70

4.5.2.5. Procedimiento 5..... 71

4.5.2.6. Procedimiento 6..... 71

4.5.2.7. Procedimiento 7..... 73

4.5.2.8. Procedimiento 8..... 73

4.5.2.9. Procedimiento 9..... 74

4.5.2.10. Procedimiento 10 75
5. APLICACIÓN 77
5.1. INTRODUCCIÓN 77
5.2. CONDICIONES AMBIENTALES DE APLICACIÓN 80
5.3. MEDICIÓN DE LA CAPA HÚMEDA 82
6. INSPECCIÓN 84
6.1. INTRODUCCIÓN 84
6.2. RECEPCIÓN DEL MATERIAL 87
6.3. PREPARACIÓN DE SOLDADURA Y BORDES 87
6.4. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE 87
6.5. APLICACIÓN DE PINTURA 88
6.6. PRUEBAS FINALES 88
6.6.1. Reunión inicial 88
6.6.2. Inspectores 89
6.6.3. Inspección final 89
6.6.3.1. Zonas de referencia 90
6.6.3.2. Inspecciones visuales 90
6.6.3.3. Detección de discontinuidades o holyday detection 97
6.6.3.4. Medición de película seca 98
6.6.3.5. Prueba de adhesión 100
6.6.4. Informe final 101
7. MANTENIMIENTO 102

7.1. INTRODUCCIÓN 102

7.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO 102

7.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO 105

7.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO 106

8. CONCLUSIONES 108

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 110

10. ANEXOS 120

ANEXO 1 120

ANEXO 2 127

ANEXO 3 132

ANEXO 4 133

ANEXO 5 136

Índice de Figuras

Figura 1.1.: Equivalencias de estándares de pintura. 3
Figura 1.2.: Montaje motor principal en bloque de sala de máquinas. 4
Figura 1.3.: Diagrama de montaje de los distintos módulos de la sala de máquinas. 6
Figura 1.4.: Comparación depuradora (a) contra módulo depuración (b). 7
Figura 1.5.: Mapamundi con los países en azul que participan en el comité TC35 y, en naranja, los observantes. 8
Figura 2.1.: Metodología de trabajo del presente TFG. 10
Figura 2.2.: Esquema simple turbina vapor. 11
Figura 2.3.: Esquema simple motor principal diésel. 12
Figura 2.4.: Esquema sala de máquinas propuesta. 14
Figura 3.1.: Módulo hidráulico en taller de fabricación. 27
Figura 3.2.: Esquema proliferación de la legionella sobre distintos materiales. 31
Figura 3.3.: Pares galvánicos distintos materiales. 33
Figura 3.4.: Compresor de aire. 35
Figura 4.1.: Adaptación Anexo C norma ISO 12944. 37
Figura 4.2.: Espacios recomendados para uso de distintos equipos de pintura según ISO 12944-3. 45
Figura 4.3.: En la Figura a) se muestra la distancia que deben tener los distintos perfiles cuando se disponen juntos. En la Figura b) se muestra el gráfico donde se correlaciona en abscisas la distancia entre perfiles y en ordenada la altura de estos perfiles. 46
Figura 4.4.: Sistema de eliminación de holguras. a) la peor opción de unión. b), la unión soldada es mejor que la atornillada. c) es la mejor opción, ya que no hay ningún tipo de holgura. 47
Figura 4.5.: En la Figura a) posición incorrecta de perfiles favoreciendo la acumulación. Figura b) posición correcta de montaje. 48

Figura 4.6.: Diferentes terminaciones de borde. Figura a) terminación no aceptada. La b) y c) aceptadas para las terminaciones según norma ISO 12944-3..... 49
Figura 4.7.: Ejemplo de refuerzo con vano (*Notch*)..... 50
Figura 4.8.: Diagrama de proceso de preparación de superficie..... 53
Figura 4.9.: Perfil con acabado Sa 2 ½ y rugosidad Grueso..... 63
Figura 5.1.: Flujograma de aplicación. 78
Figura 5.2.: Peine medidor de espesor húmedo. 83
Figura 6.1.: Diagrama de pasos de la inspección de un protocolo pintura... 86
Figura 6.2.: Detalle de ampollamiento o *blistering*. 92
Figura 6.3.: Patrones de oxidación según la norma ISO 6248-3..... 93
Figura 6.4.: Agrietamiento de pintura en superficie..... 94
Figura 6.5.: Escamado en superficie..... 95
Figura 6.6.: Patrones de colores norma RAL. 96
Figura 6.7.: Medición de espesor de película seca. 99
Figura 7.1.: Diagrama de explicativo del mantenimiento de pintura..... 103
Figura 10.1.: Tabla de imperfecciones según ISO 8501-3. 135

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Fluidos y valores de temperatura y presión de trabajo sala máquinas. 26
Tabla 3.2. Tabla de selección de tuberías. 29
Tabla 3.3. Selección de materiales para el sistema de FO. 30
Tabla 4.1. Definición de temperatura ambiental en sala de máquinas. 39
Tabla 4.2. Definición de otras condiciones ambientales de las salas de máquinas. 39
Tabla 4.3. Definición de los ambientes según norma ISO 12944-2. 41
Tabla 4.4. Categoría de estructuras inundadas según norma ISO 12944-2. 41
Tabla 4.5. Contaminantes en acero al carbono nuevo y recubierto. Método de eliminación. 55
Tabla 4.6. Relación entre tipo de abrasivo y rugosidad obtenida. 62
Tabla 4.7. Enumeración de distintos procedimientos según materiales, temperatura de trabajo y producto en contacto. 65
Tabla 4.8. Tabla especificación procedimiento 1. 69
Tabla 5.1. Relación humedad relativa. 82
Tabla 6.1. Listado de inspecciones a realizar. 85
Tabla 6.2. Zonas de referencia según la norma ISO 12944-7. 91
Tabla 10.1. Listado de normas internacionales usadas en el trabajo. 120
Tabla 10.2. Clasificación de tuberías según producto, temperatura y presión. 127
Tabla 10.3. Materiales aprobados según clase de tuberías. 128
Tabla 10.4. Materiales sala de máquinas. 129
Tabla 10.5. Relación entre grado oxidación inicial/grado preparación. 132
Tabla 10.6. Tablas de procedimientos de pinturas. 136

Glosario

Alto contenido en sólidos: propiedad de una pintura que contiene un volumen de solidos mayor que el normal.

Calamina: capa de óxido que se forma en el acero durante la laminación en caliente.

Capa imprimación: primera capa de un sistema de pintura.

Capa intermedia: cualquiera de las capas entre la imprimación y la capa de acabado.

Capa de terminación: capa final de un protocolo de pintura.

Chapa lagrimada: tipo de plancha metálica generalmente prefabricada la cual posee un patrón regular de "diamantes" o líneas en relieve que permiten un mejor agarre evitando así el riesgo de deslizamientos. Suele ser fabricada en acero o aluminio.

Compatibilidad entre pinturas: capacidad de dos o más pinturas para ser usadas con éxito conjuntamente sin tener ningún tipo de efecto negativo.

Compatibilidad entre pintura y substrato: capacidad de un producto para ser aplicado a un substrato sin que surjan efectos indeseables ente ellos.

Defectos en productos planos: Discontinuidades superficiales en la que la profundidad y/o el área es mayor que un valor límite especificado, así como todas las grietas, pliegues y costuras cualquiera que sea su profundidad y/o superficie.

Defectos en productos largo: Discontinuidades superficiales en la que la profundidad y/o el área es mayor que un valor límite especificado.

Durabilidad: La expectativa de vida de un procedimiento de pintura antes de

su primer mantenimiento.

Especificación: Documento técnico que describe todos los requisitos a ser cumplidos para que una superficie metálica sea protegida contra la corrosión mediante un sistema de pinturas. Tal documento consiste en una serie de especificaciones individuales como especificación de diseño, de protección, de aplicación e inspección.

Galvanizado en caliente (hot dip galvanized): proceso de inmersión de acero en una caldera o baño de zinc fundido

IACS (International Association of Classification Societies): Asociación Internacional de Sociedades Clasificadora, órgano que incluye a la casi totalidad de sociedades clasificadoras.

Imperfecciones suministro producto largo: Discontinuidades superficiales en las que la profundidad y/o el área sea inferior o igual a un valor límite especificado.

Imperfecciones suministro producto plano: Discontinuidades superficiales que no sean grietas, pliegues y costuras, en las que la profundidad y/o el área sea inferior o igual a un valor límite especificado.

Imprimación de taller: pintura de rápido secado que se aplica al acero chorreado como protección temporal durante el proceso de fabricación.

Inspector: Responsable de asegurar la conformidad con una o más especificaciones individuales.

Lista de proveedores autorizados: Listado que emite un cliente de proveedores de equipos, materiales, etc. que desea para un proyecto.

Mantenimiento: serie de acciones que aseguran que se mantienen la correcta función de protección contra la corrosión del protocolo de pintura.

Pintura: Producto en forma líquida, pasta o polvo que cuando se aplica a un substrato forma un film opaco teniendo propiedades específicas de protección, decorativas o de otro tipo.

Punto de rocío: Es la temperatura a la que el agua empieza a condensarse del aire.

Tramex o rejilla electrosoldada: reja cuyos elementos metálicos han sido ligados a través de una soldadura eléctrica, formando un sólo cuerpo enrejado, con estructura de malla, resultado de la unión de todas sus partes.

Substrato: la superficie donde se va a aplicar la pintura.

Tie coat: capa diseñada para mejorar la adhesión entre capas.

Tipo de atmósferas: características de la atmósfera en base a los agentes corrosivos presentes y sus concentraciones.

Tradesman: trabajador especializado en una ocupación que requiere experiencia, con una educación equivalente a una formación profesional.

Resumen

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es el desarrollo de una matriz de selección de procedimientos de pintura, aplicados a una sala de máquinas de un buque, desde la perspectiva de aplicación de la normativa internacional existente. La motivación de realizarse una especificación de pintura aplicando una normativa internacional, se debe al hecho de que los astilleros, han pasado de ser grandes factorías, en donde se desarrollaba el total del trabajo de construcción del buque, a empresas de síntesis, que realizan la mayoría de los trabajos, mediante un proceso de subcontratación en mercados globales.

Concretando en el aspecto tan particular de la corrosión, proceso que afecta a todos los materiales metálicos que conforman un barco, el hecho previamente mencionado, motiva que se ha de pasar de especificaciones de pinturas elaboradas bajo normativas nacionales, bajo recomendaciones de empresas de pinturas o propias del astillero, a una especificación que aplique normativas internacionales, para la selección y aplicación de pinturas, criterios de aceptación por parte del astillero, etc.

Esta circunstancia hace que, todas las partes participantes en el proyecto de construcción de la sala de máquinas puedan tener, en lo que respecta a los protocolos de pintura a aplicar en la sala de máquinas, una especificación única. Permitiendo a todos los departamentos, desde compras a calidad, tener un documento que marque sus objetivos.

En el presente Trabajo Fin de Grado, se presentará una metodología de trabajo empleando y aplicando determinadas normativas, detallando la motivación para la aplicación en una sala de máquinas tipo, sin que ésta pertenezca a ningún buque de tipología específica. Dicha metodología permitirá desarrollar una selección de materiales, a partir de los sistemas que componen la sala de máquinas y de las condiciones de trabajo de aquéllas. Asimismo, a partir de los materiales obtenidos, se estudiará, para cada fase

del protocolo de pintura, la normativa adecuada aplicable.

Todo ello permitirá obtener una serie de conclusiones, en donde se resaltará la propuesta de elaboración de una especificación de pintura concreta para una sala de máquinas de un buque, intentando que abarque el mayor tipo de materiales posibles, dentro de una lógica constructiva. El procedimiento propuesto presenta una gran ventaja, ya que se podrá aplicar a cualquier sala de máquinas y en cualquier tipo de barco; todo ello es debido a la presentación de una tabla de selección para cada material, disponible en este Trabajo Fin de Grado, según la normativa internacional, lo que permitirá poder fabricarse en cualquier lugar, considerando el mercado global en el que nos encontramos en pleno Siglo XXI.

Palabras claves: Sala de máquinas, matriz de selección de procedimientos de pintura, normativa internacional, criterio de aceptación, procedimiento, mercado global.

Abstract

The topic of this Last Year Project is to develop a selection chart of paint standards, to be applied to an Engine Room of a Ship, but from point view of international standards. The reason for developing this thesis from the point view of international standards is due to the shipyards have been changed from big factories, where the total works was done inside, to companies that buy all by means of outsourcing and turnkey contracts in global markets.

Focusing in the corrosion, inherent of metallic materials of a ship, the issue that has been explained in the above paragraph punch to the shipyards to change from painting specifications developed about national standards, tips of paint companies or specifications develops by themselves, to painting specifications develop following international standards to select the coatings, application, and acceptance criteria.

This circumstance makes that all parts involve in the project of building of Engine Room have a unified coating system, about painting process. Let to all departments, from purchasing to quality department, have a dossier clear and objective to do their duties.

In the thesis, it will be exposed a methodology of work, using and applying standards, detailing the reasons to be applied to the standard engine room, without be of any specific ship. This methodology will be permitted to develop a selection of material from the systems of engine room and running conditions of them. It will be developed a specification for each steps of coating process with their standard applicable considering each studied material.

This one allows get some conclusions, wherein the target will be developed a coating specification for an engine room, using a wide material scope but with a constructive logic. The proposal procedure presents a great advantage, because it will be able applied to any engine room due there will be a chart of selection for each material, available in this Project, about international

standards. Allowing manufacture in any place of the global market that we live nowadays

Key Words: Engine room, paints, selection chart technical specification, international standards, procedures, global market

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

Vivimos en una sociedad y mercados globales, que hacen que, hoy en día, se pueda comprar determinado producto en cualquier parte del mundo. Esto es técnicamente muy fácil, pero lo que no es fácil, es que el producto adquirido sea compatible con los estándares del comprador. A un nivel de mercado de pequeño consumidor, a modo de ejemplo, se continua con el mismo problema en cuanto a los estándares de enchufes a la hora de comprar un producto eléctrico de pequeño consumo. Esto es debido a una falta de una estandarización real a nivel mundial.

A nivel industrial, nos encontramos a modo de ejemplo, con los problemas de las diferencias dimensionales de perfiles metálicos para estructuras entre todos los estándares internacionales. Si se compara el estándar europeo (EN 10034:1993), el americano (ASTM A 6/a 6M-07), el japonés (JIS G3195:2005), ruso (GOST 26020-83) e inglés (BS 4-1:2005) hace casi imposible la compatibilidad de comprar y fabricar estructuras para Europa según la UNE 1090 en otros mercados externos.

Por otro lado, y dejando a un lado la estandarización, y concretando en la industria del sector naval, los astilleros actualmente se han convertido en empresas de síntesis, es decir, en empresas que su actividad principal es el diseño naval, y las instalaciones donde poder realizar el ensamblaje final, subcontratando una gran parte del proceso.

Si sumamos los dos factores que hemos expuesto anteriormente, por un lado, el mercado global y, por otro, la transformación del astillero en empresa de síntesis, hoy en día distintas partes de un buque se pueden construir en proveedores y países distintos.

Hay que tener presente, que todos los materiales empleados en la

construcción naval, en mayor o menor medida, experimentan el problema de la corrosión, por lo que hay que invertir ingentes cantidades de dinero en su prevención (1).

Uno de los métodos más empleados para proteger los materiales metálicos de la corrosión es la aplicación de pinturas, que ejercen un efecto barrera con el medio externo. Debido a una falta de normativa internacional unificada o directamente inexistente en su momento, ha hecho, que muchos astilleros, fabricantes y talleres desarrollarían sus propias especificaciones basándose en su experiencia, en los equipos disponibles para preparación de superficies y aplicación de pinturas, proveedores, etc.

Este hecho hace que, cuando se sale a un mercado global de fabricación, es necesario disponer de una especificación o estándar de pintura. Abandonando los usos locales o recomendaciones de fabricantes de pinturas, y se adopte una estandarización basándose en normas internacionales, tanto en la selección de pintura, forma de aplicación y criterio de aceptación, con el fin de evitar que, a la entrega del producto, pueda haber contradicciones entre las partes implicadas.

Un ejemplo claro de falta de normativa se refleja en un concepto tan básico como es la selección del color de la pintura. En la actualidad no existe una tabla de selección de colores que corresponda a una normativa de un ente supranacional, sino a distintos institutos y asociaciones nacionales. Aunque hay una cierta equivalencia, en la realidad, es que cada sistema de color es único y sus correspondencias no son siempre cien por cien iguales y ese problema deriva en la dificultad de que el color final de dos piezas construidas en lugares distintos sea igual.

En la Figura 1.1. se detalla los distintos sistemas de medición de colores y su aplicación en distintos países, mostrando la falta de uniformidad a nivel mundial.

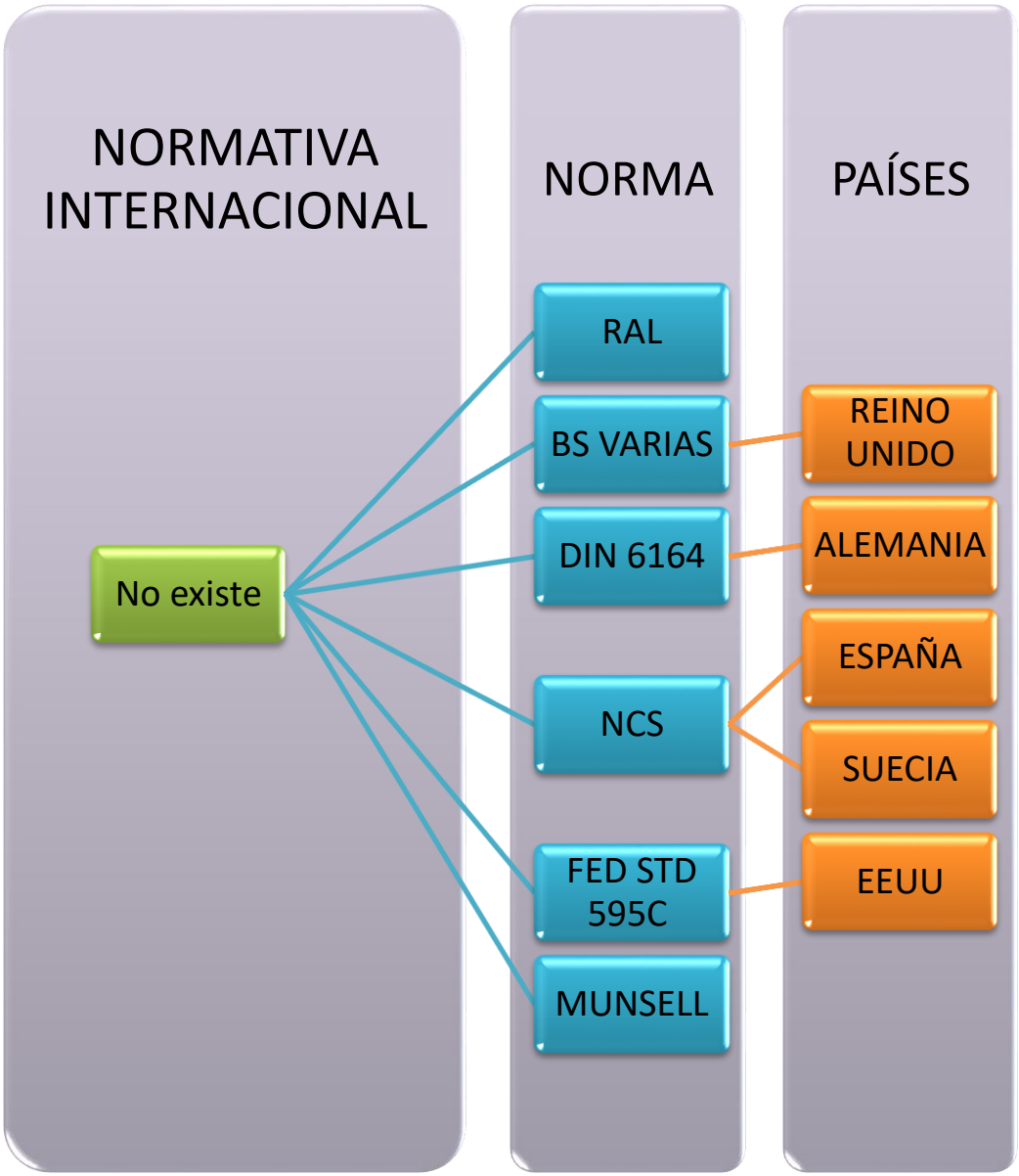


Figura 1.1.: Equivalencias de estándares de pintura.

Fuente: Elaboración propia

1.2. FOCALIZACIÓN DEL PROBLEMA: SALA DE MÁQUINAS

La construcción naval, hoy en día, se basa en módulos funcionales, que son componentes complejos del buque, estructuralmente independientes de la estructura principal, que incluyen servicios completos o casi completos, y que se pueden construir en los talleres, mientras se construye el casco del barco.

Los módulos funcionales incluyen, entre otros, toda la tubería, cableado, soportes, equipos, y sus interconexiones, así como el tratamiento superficial que se aplica a los mismos. Se fabrican sobre estructuras auto-portantes en talleres y, una vez terminados y probados, se llevan a la grada, se izan a bordo e incorporan al buque como grandes piezas de un mecano(2).

En la Figura 1.2. se presenta el montaje del motor principal en el bloque de la sala de máquinas, en donde se van sumando los distintos componentes y sub-bloques. Este bloque, a posteriori, se incorporará al barco.

Figura 1.2.: Montaje motor principal en bloque de sala de máquinas.

Fuente: http://www.mhi-global.com/discover/graph/feature/no168.html.

La fabricación mediante módulos funcionales permite realizar la fabricación en lugares diferentes al astillero. Económicamente se ha demostrado que este tipo de construcción es más rentable, ya que, el uso de espacios distintos al del dique seco, reduce significativamente los costes, por lo que es una metodología de trabajo que se ha impuesto, pudiéndose realizar una deslocalización industrial. (3)

La sala de máquinas es, posiblemente, la parte del buque que mejor se adapte a este tipo de fabricación, ya que participan varios gremios, y, por lo tanto, donde su externalización está más justificada, por abaratamiento de costes y facilidad logística.

En la Figura 1.3. se presenta las partes constitutivas del módulo funcional de una sala de máquinas. El módulo se puede dividir en dos grupos: por un lado, el módulo estructural, que es la parte de calderería de ejecución por parte del astillero o de industrias auxiliares. Mediante una buena especificación de trabajo (soldadura, pintura, etc.), se puede permitir la compra en un mercado global. El otro modulo lo constituye la parte de equipamiento que suele ser suministro de fabricantes especialista en la materia bajo sus propios requisitos.

En el pasado, los fabricantes suministraban los equipos de forma individual, por ejemplo, en el caso de sistemas de depuración de combustibles se suministraba solo la depuradora, Figura 1.4. a) y se realizaba el montaje de la tubería, conexionado eléctrico, etc. en el propio astillero. Hoy en día suministran el módulo completo, siguiendo el ejemplo de depuración de combustible, en vez de suministrar el equipo individual suministran un módulo con la misma depuradora, pero incluyendo todos los equipos necesarios como bombas, válvulas, elementos de control, etc., para su funcionamiento, Figura 1.4. b).

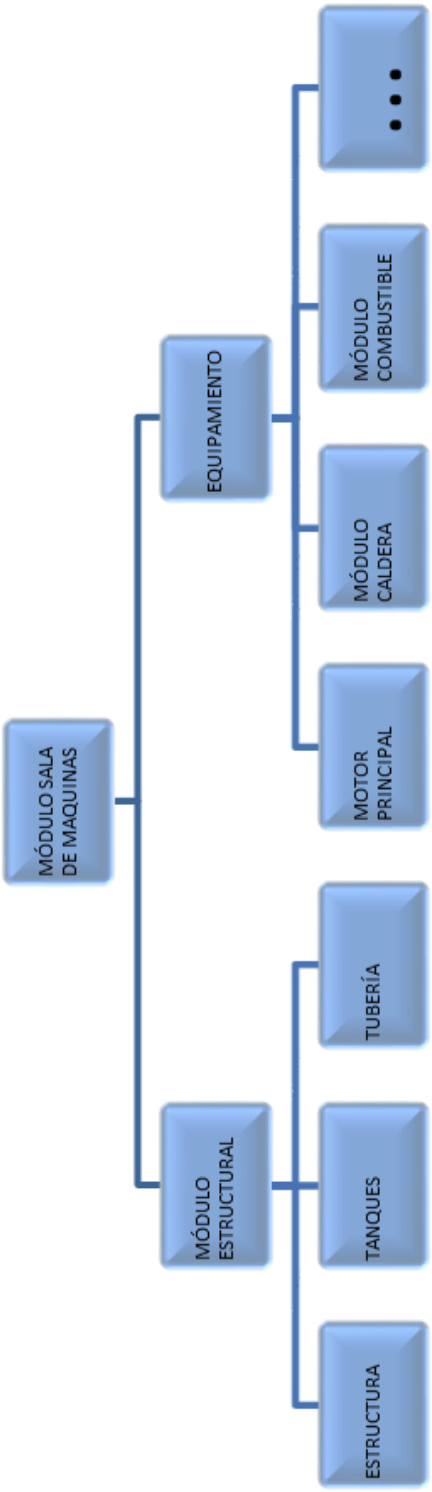


Figura 1.3.: Diagrama de montaje de los distintos módulos de la sala de máquinas.

Fuente: Elaboración propia

Esto permite que en el momento de la fabricación del buque se ahorre tiempo en montaje y puesta en marcha.

a) **b)**

Figura 1.4.: Comparación depuradora (a) contra módulo depuración (b).

Fuente: www.alfa-laval.com

Por lo tanto, la fabricación de una sala de máquinas, en distintos centros de trabajo, implica que los procedimientos de fabricación y de inspección estén bien definidos. Por ello, la mejor manera es mediante la utilización de herramientas normativas de amplia aplicación internacional. La aplicación de pintura no está fuera de esta problemática, por lo que el presente estudio se va a centrar en los sistemas de pintura a aplicar, como medida anticorrosiva de los componentes metálicos, en la sala de máquinas de un buque estándar.

Hay varias normativas internacionales de uso común, como las normas ASME, ISO, SSPC, etc., que definen la metodología en el sector de la pintura. Esto implica, que las empresas deben seguirlas, seleccionando para cada etapa del procedimiento de pintura, la adecuada a sus necesidades o las de sus clientes.

Dentro de la norma ISO, existen distintos comités responsables de los estudios de las normas, en particular el comité responsable en el sector de las

pinturas es el TC 35.

Nuestro país participa dentro del comité a través de AENOR, y los países industrializados más importantes están incluidos, por lo que entendemos que las normas internacionales de aplicación van a ser la norma ISO. (Figura 1.5.).

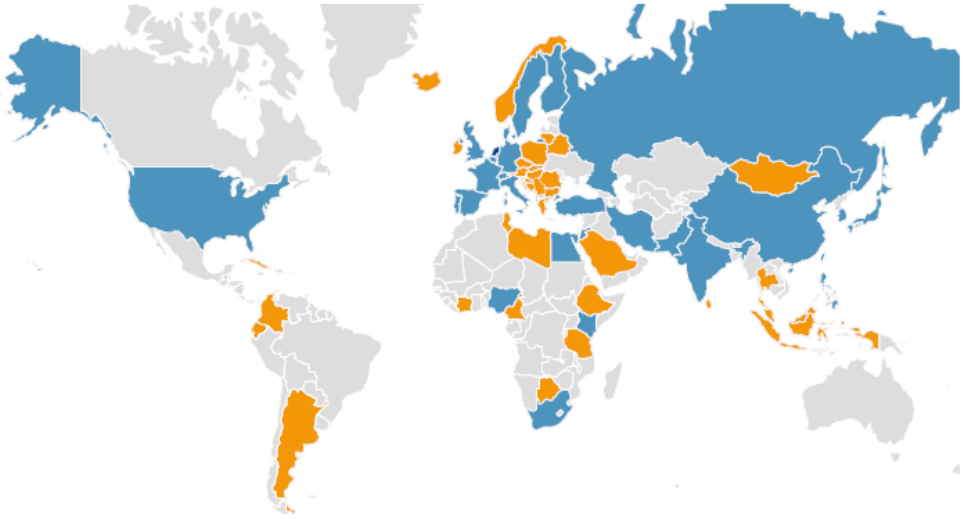


Figura 1.5.: Mapamundi con los países en azul que participan en el comité TC35 y, en naranja, los observantes.

Fuente https://www.iso.org/committee/47962.html?view=participation

Al producirse una deslocalización industrial, y a pesar de vivir en mercados globales, en la actualidad, se tiende a trabajar con normativas locales o en su defecto normativas internacionales, y no siempre la ISO, ya que la norma ASTM y su comité correspondiente, D01, también tiene un arraigo industrial importante.

Por lo tanto, cuando se produce una contratación en un mercado global, es importante especificar durante el proceso de compra el marco normativo aplicable a todo el protocolo de pintado de la sala de máquinas, para evitar posibles no conformidades con el producto final.

2. METODOLOGÍA Y OBJETIVOS

2.1. INTRODUCCIÓN

En la Figura 2.1. se puede apreciar la metodología que se va a aplicar en el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado. En color se detallan los bloques de estudio, y en el recuadro contiguo se ubican los parámetros o variables a estudiar, de los que se obtendrán los resultados pertinentes para trazar las condiciones más relevantes.

Una vez definida la sala de máquinas, se va a definir el marco normativo a aplicar a las distintas fases del proyecto que son:

- Diseño
- Aplicación
- Inspección
- Mantenimiento

Se utilizarán normas ISO, y se justificarán el porqué de su aplicación.

2.2. SALA DE MAQUINAS

La sala de máquinas de un buque es el área que posee mayor rango de materiales empleados y en donde se dan las condiciones de trabajos más diversos dentro del barco, si se exceptúa claro está, la zona de carga de barcos especiales (metaneros, quimiqueros, etc.).

Es un área fácilmente estandarizable, ya que las variables de productos y de condiciones de trabajo son muy similares de un buque a otro. Inclusive cuando las tecnologías de propulsión son distintas. Como ejemplos, vamos a tomar dos sistemas clásicos de propulsión de buques, el motor Diesel (Figura 2.2.) y la turbina de vapor (Figura 2.3.). Asumimos que ambas consumen fuel-oíl. Ambas figuras son una esquematización al máximo de una sala de máquinas.

Figura 2.1.: Metodología de trabajo del presente TFG.

Fuente: Elaboración propia

Si analizamos las pinturas disponibles en el mercado y las dividimos por su rango de resistencia a la temperatura, de manera simple, se podrían definir cuatro grupos: hasta 70ºC, de 70 a 150ºC, de 150º a 400ºC y de 400º a 600ºC, y ya por encima de 600ºC es mejor optar por materiales resistentes a la

corrosión y temperatura (por ejemplo, acero corten).

Por lo tanto, comparando las temperaturas de funcionamiento de los distintos componentes de la sala de máquinas podemos comprobar que los rangos de trabajo por temperaturas van a ser todos iguales, por lo que los procesos de pintura basándonos en la temperatura pueden ser equiparables de un sistema de propulsión a otro. Con ellos se puede llegar a la conclusión, que independientemente del sistema de propulsión, y exceptuando equipos concretos, la utilización de un sistema de propulsión u otro no grava en exceso en la selección de los procedimientos de pintura de este trabajo.

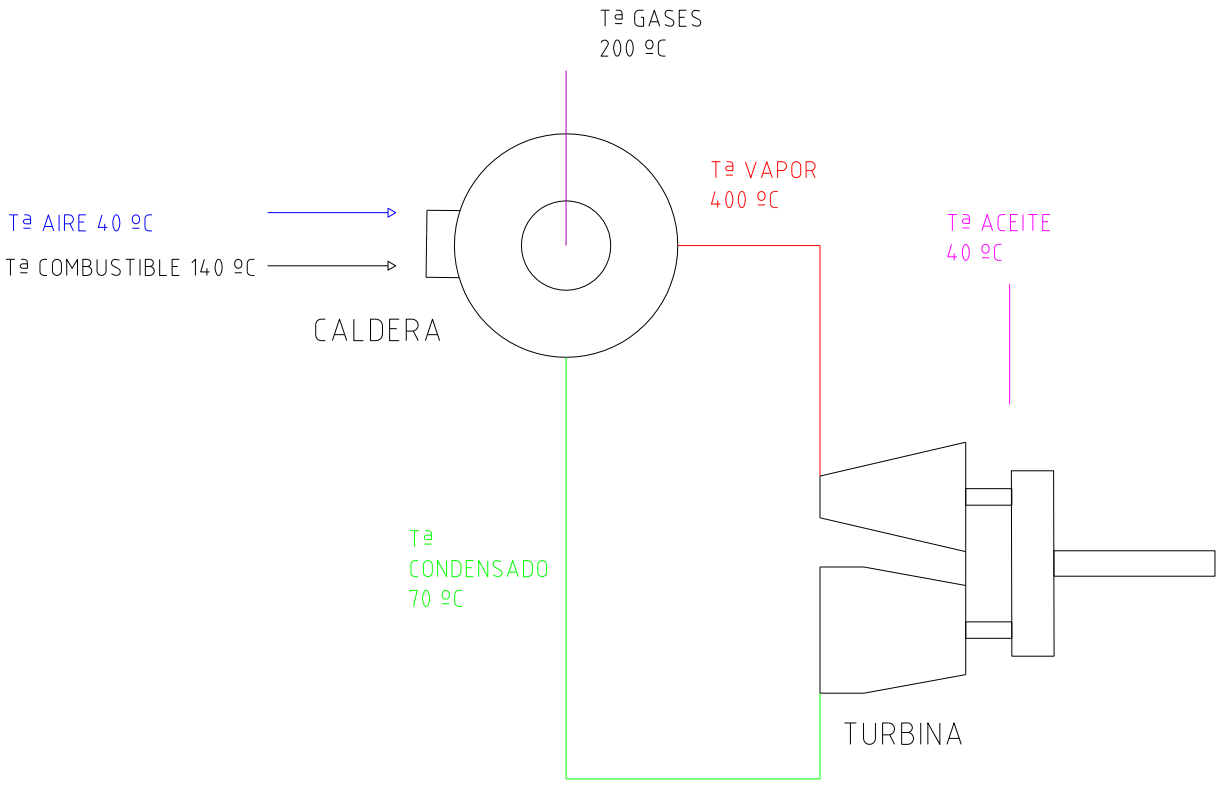


Figura 2.2.: Esquema simple turbina vapor.

Fuente: Elaboración propia

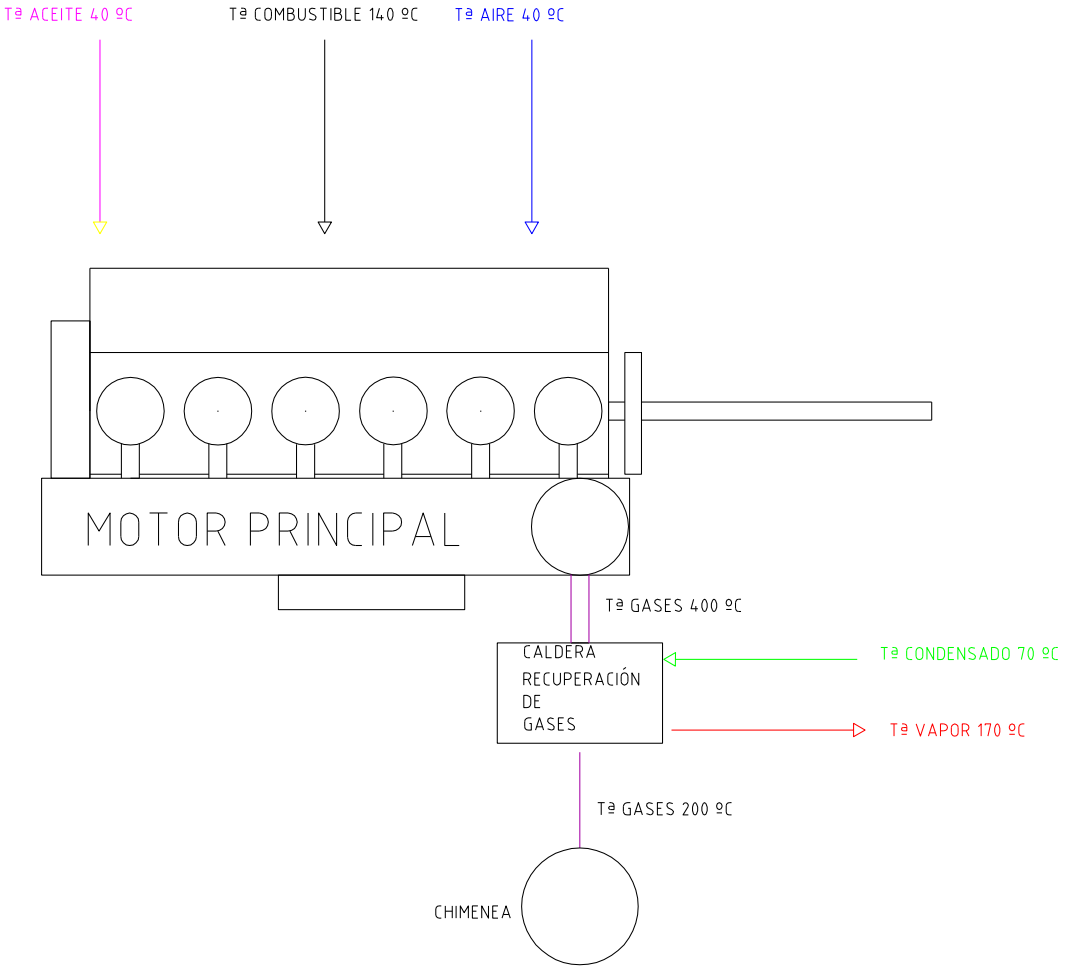


Figura 2.3.: Esquema simple motor principal diésel.

Fuente: Elaboración propia

Por todo ello la sala de máquinas que se va a definir en este Trabajo Fin de Grado, será una sala de un buque general, en donde no se va a incluir ningún tipo de sistemas que se utilicen en las operaciones de carga, excepto lastre, ya que se entiende que esta sala de máquinas sería el mínimo necesario de estandarización, siempre desde el punto de vista de selección y aplicación de pintura.

Dicha sala de máquinas estará formada por:

- Motor principal diésel de 2 tiempos.

- Motores auxiliares 4 tiempos.
- Caldera más recuperador de gases de escape con vapor a 7 bares
- Equipos de tratamiento de fuel oíl, depuradoras, calentadores, tanques, etc.
- Equipos de tratamiento de aceite, depuradoras, calentadores, tanques.
- Sistema centralizado de agua dulce para refrigeración de todos los sistemas.
- Sistema de agua salada, dando servicio a sistema centralizado, sistema de lastre, generadores de agua dulce, etc.,
- Sistemas de tratamiento de residuos, como lodos, agua sentinas, aguas grises y negras, etc.,
- Sistemas de habilitación, agua sanitaria.
- Sistema ventilación sala de máquinas.
- Sistemas de aire comprimido.

La disposición de la sala de máquinas es como se ha reiterado anteriormente, una sala estándar, entendiéndose como una sala de máquinas reducida al mínimo de equipamiento, pero, como se desarrollará en próximos capítulos, los materiales que se utilizarán serán muy diversos, para poder definir, con el mayor detalle los distintos protocolos de pintura. En la Figura 2.4. se puede ver un esquema de la sala de máquinas propuesta, donde cada equipo tiene el color del procedimiento de pintura que le corresponde, los cuales, se desarrollarán en el Capítulo 4.5.

La sala de máquinas operará en unas condiciones fisicoquímicas de trabajo. De las condiciones físicas de trabajo, se selecciona la temperatura de servicio de los distintos equipos, tuberías y tanques, ya que esta variable es muy importante en la selección de pinturas.

De las condiciones químicas, una vez asumidas las condiciones ambientales

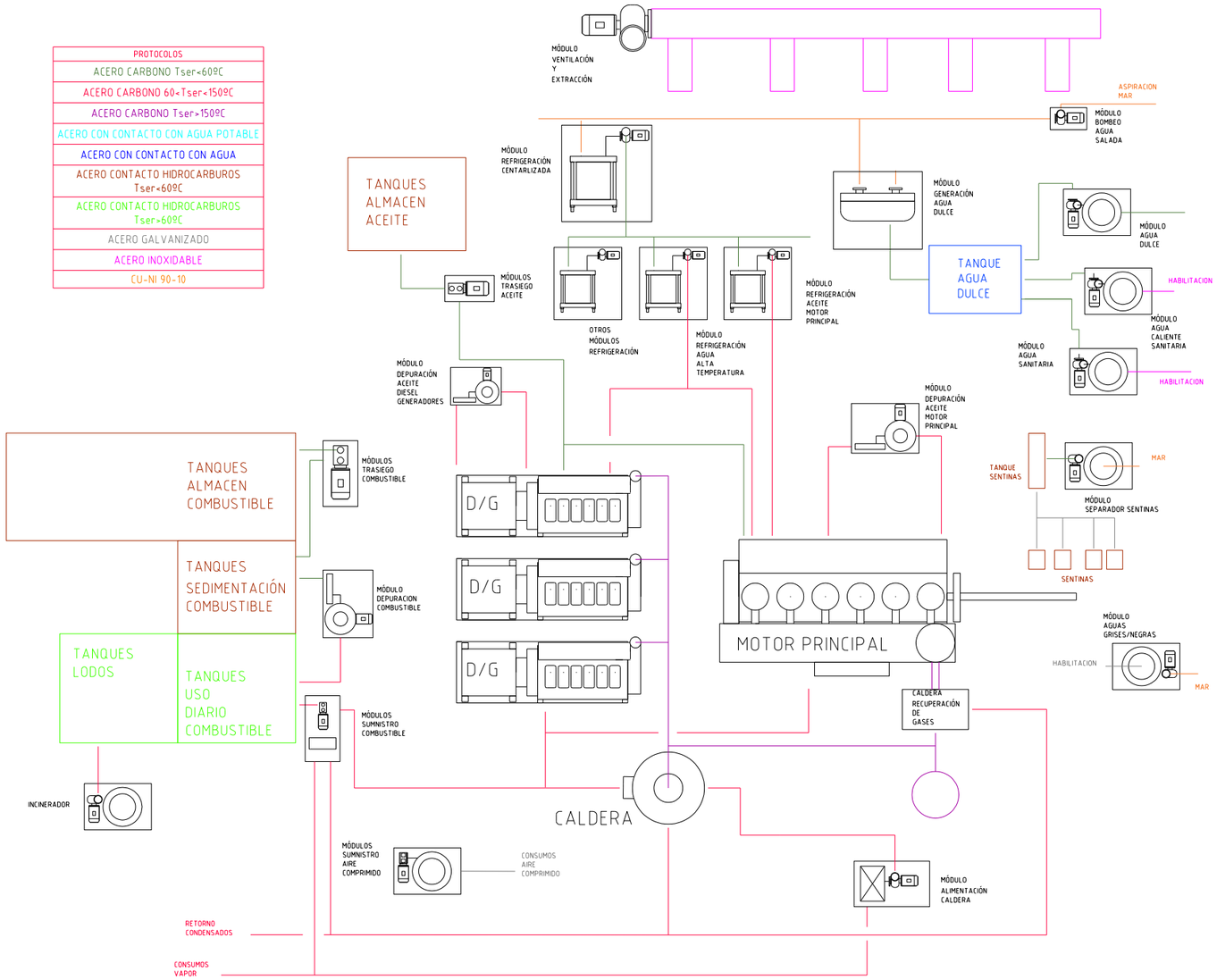


Figura 2.4.: Esquema sala de máquinas propuesta.

Fuente: Elaboración propia

(como salinidad, ambientes corrosivos portuarios, etc.), se selecciona el contacto de los distintos productos que hay en la sala de máquinas, como fuel-oíl, aceites, etc. Entendiendo que hay contacto continuado en el interior de tanques, sentinas, etc., pero que, en superficie de tuberías, solo se producirá en caso de derrame, y es puntual. Este hecho es importante, ya que, en un tanque de aceite, la pintura interior debe ser resistente al aceite, pero, sin embargo, en el exterior no debe serlo.

2.3. MARCO NORMATIVO Y JUSTIFICACIÓN

Una vez definida la sala de máquinas, los protocolos de pintura a aplicar se van a definir desde la base de un marco normativo.

Como se ha mencionado en el planteamiento del problema, hay un amplio abanico de normas, que desgraciadamente, hoy en día siguen lejos de estar unidas en un marco normativo único.

La firma del Memorando de Entendimiento entre el comité D01 de la ASTM y el comité TC35 por parte de la ISO (4), ambos responsables del desarrollo de estándares de pintura dentro de sus respectivas organizaciones, ha servido para trabajar en un mismo camino. Aunque este memorando no se ha desarrollado para emitir normas comunes, sino para eliminar normas duplicadas y decidir qué norma aplicar. En la práctica implica que se cumplimentaran ambas normas, pero no habrá unificación.

El objetivo es utilizar en el mayor rango posible las normas ISO, aunque sin dejar a un lado las distintas normas americanas, suecas y demás comités nacionales y supranacionales, en los rangos donde las normas ISO no sean capaces de definir el alcance objeto de estudio.

Las normas se aplicarán en cada fase del proyecto, para que, de esta manera, las definiciones de los protocolos de pintura estén integrados desde el propio

diseño hasta la fabricación y garantía.

Se ha definir correctamente el diseño de los equipos para favorecer el pintado, cómo se han de realizar los procesos de corte de las piezas, las soldaduras y la limpieza de éstas. Es importante saber cómo se van a fabricar los equipos para definir cómo y cuándo proceder a la preparación de la superficie y al pintado.

Todos estos procedimientos se deberán definir en el momento del diseño. Por lo tanto, los ingenieros de diseño deben tener conocimiento de estas normas para aplicarlas en dicha fase.

Cuando las normas están bien definidas en el proceso de diseño, hay una seguridad y base de actuación tanto para el personal de compras, a la hora de subcontratar o comprar estos equipos, como para el personal de fabricación, a la hora de aplicar e inspeccionar los productos.

El cómo y cuándo lo define la norma, el porqué de la aplicación de esta norma es el objetivo de este trabajo. Se hará una justificación de la norma internacional y porqué es aplicable al protocolo.

La justificación de uso, es decir, el orden de aplicación se realizará según el siguiente criterio:

- Norma ISO
- Norma ASTM
- Única norma aplicable

Posiblemente el criterio anterior, sea cuestionado por un amplio abanico de profesionales del sector, ya que hay normas que no son ISO que se usan en mayor extensión que éstas, pero también es verdad, que las normas ISO son normas de aplicación supranacional, y no están ligadas a comités privados.

Realmente ese es su punto fuerte, para el objetivo de este trabajo: que es el

realizar una especificación de pintura que sea aplicable en cualquier mercado y por cualquier fabricante; así la norma ISO y sus respectivas adaptaciones nacionales, como es el caso de AENOR en España, favorece su normalización en un mayor número de países.

El motivo por el que se elige la norma ASTM en segundo lugar después de la norma ISO viene motivado por la firma del Memorando de Entendimiento entre ambas instituciones. Si en ese documento se sientan las bases de que ambas normas se cumplimenten, es lógico que para el presente estudio, cuando la norma ISO no tenga norma que cubra la materia de estudio se utilice la norma ASTM.

2.4. OBJETIVOS

El objetivo de la aplicación de los marcos normativos en las distintas fases del proyecto se va ver reflejado en cada fase en documento de uso por cada parte participante en el proyecto y en la futura operación del buque. (Figura 2.1.)

2.4.1. Diseño

El documento que emanará como objetivo de la aplicación del marco normativo, va a ser una matriz de selección de protocolos de pintura, dependiendo de la naturaleza de los materiales y de las variables fisicoquímicas de operación, obteniéndose un esquema claro y conciso de que protocolos de pintura se debe aplicar. Además, al agruparlo por materiales y variables en vez de por equipos, sistemas, etc., posibilita que, ante una ampliación de sistemas, por ejemplo, en el caso de equipos de carga, la selección del protocolo de pintura sea inmediata.

2.4.2. Aplicación

El documento que emanará será una serie de procedimiento de aplicación, es

decir, cuando, cómo y dónde. Esto sin duda alguna facilitará tanto, al departamento de compras, en el caso de contrataciones llave en mano o contrato de servicios, como al departamento de fabricación.

2.4.3. Inspección

El documento que se obtendrá será los requisitos de aceptabilidad de los recubrimientos. Este punto es crítico ya que una correcta definición de que es correcto y que no, elimina problemas de rechazo de cualquiera de las partes. Este documento debe ser aprobado por el astillero, así como por el cliente y sus representantes.

Los criterios de aceptabilidad es la demostración, de que el protocolo de fabricación ha sido correcto y, por lo tanto, es un hito de aceptación por parte del cliente y, por consiguiente, del pago. El documento debe ser claro y conciso, sin ambigüedades que dificulte la aceptabilidad. Todas las mediciones, comentarios y demás anotaciones pertinentes, deben ser reflejados en un informe con la firma de todas las partes.

2.4.4. Mantenimiento

Una vez entregado el buque al armador, éste debe realizar unas labores periódicas de mantenimiento para poder asegurar que la protección de los equipos frente a la corrosión sea duradera en el tiempo, obteniendo el objetivo de vida útil del buque. Se darán unas pautas de cómo enfocar el mantenimiento para obtener información de la evolución del recubrimiento de pintura en el tiempo y realizar los ajustes necesarios.

2.4.5. Otros objetivos

Otro de los objetivos de este trabajo es implementar una especificación con el menor uso de tipos de pinturas. El motivo es claro: dentro del buque el espacio es limitado y, el pañol de pinturas, por regla general, es de tamaño ajustado.

La especificación debe contener las pinturas necesarias, pero siempre que están puedan usarse en más de un protocolo, con objeto de economizar tipos de productos y, por lo tanto, estocaje necesario para mantenimiento.

Además, como cada tipo de pintura tiene su sistema de aplicación, el hecho de reducir los tipos favorecerá al aplicador al tener un mejor conocimiento de sus características, disponer del equipamiento adecuado, reduciendo de esta manera las probabilidades de fallo en el tiempo.

El mismo criterio anterior es aplicable al personal a cargo de la inspección de la pintura.

3. MATERIALES

3.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se presentará exhaustivamente la sala de máquinas estándar y los materiales inherentes a sus componentes y estructuras para, de esta manera, desarrollar una matriz de pinturas a aplicar lo más extensa posible.

Los materiales de la sala de máquinas los definen los elementos que decide el armador. El elemento principal es la planta propulsora que en este caso es un motor diésel, con gran número de circuitos y sus variables de funcionamiento.

La selección del sistema de calentamiento es un sistema que define distintos circuitos y sus variables. En este caso se ha seleccionado el sistema de vapor en vez de aceite térmico. Evaluando las ventajas y desventajas, uno respecto al otro, se ha seleccionado el vapor, por motivos económicos, ya que es más económico la instalación del vapor (5), y basándose en que se quiere un buque estándar, lo normal es optar por la opción económica.

Se comenzará explicando los equipamientos esenciales, según una sociedad clasificadora, para después, definir los parámetros de funcionamiento del motor principal. Con estos parámetros se elabora una tabla con los equipamientos esenciales, según sociedad clasificadora, y el rango de funcionamiento.

Con los datos anteriores se irán definiendo los materiales de los distintos equipos mediante las normas de las sociedades clasificadoras. Se separa en cuatro grupos:

- Equipos de fabricante externo (motores, depuradoras, …)
- Tuberías y válvulas.

- Tanques
- Estructuras

De todos los equipos y componentes se hablarán a continuación.

3.2. DEFINICIÓN DE SALA DE MÁQUINAS

3.2.1. Introducción

Como se habló en los capítulos anteriores, se ha decido asumir la concepción de una sala de máquinas estándar, a partir de la cual se va a obtener la matriz de selección de materiales y con ella en capítulos posteriores la matriz de selección de protocolos de pintura. El objetivo es claro: facilitar ante ampliaciones de la sala de máquinas en cuando equipamiento, el proceso de selección de pinturas.

En este capítulo ampliaremos las definiciones de dichos elementos, así como especificaremos que componentes.

Además, se definirá las condiciones de trabajo, tanto ambientales como propiedades fisicoquímicas a las que están sometidos los distintos elementos.

El tipo de equipamiento que va a disponer esta sala, lo marca las sociedades clasificadoras. Éstas en sus distintas normas disponen cuál debe ser el equipamiento mínimo y los materiales utilizables, para que los buques puedan ser clasificados por ellas.

Una vez definido el equipamiento mínimo se pormenorizará y se seleccionarán entre los materiales que permiten las sociedades clasificadoras. La selección de materiales, claro está, vendrá definido por los equipamientos seleccionados, debido a que, cada equipo dispone de unos parámetros de funcionamiento diferentes, que hará que las propiedades fisicoquímicas de los

fluidos varíen influyendo por tanto en los materiales seleccionados.

3.2.2. Equipamiento según sociedades clasificadoras

La utilización de la normativa de una sociedad clasificadora u otra no hace una variación sustancial de los equipamientos mínimos. Se entiende que las grandes sociedades clasificadoras pertenecen a la IACS, por lo que hay un criterio unificado.

Para el presente estudio vamos a basarnos en la documentación de la Germanischer Lloyds, que dentro de su documento "*I "Rules for Classification and Construction Ship Technology" edición Julio 2016 Capitulo 1 Seagoing Ships, apartado 2 Machinery Instalation, sección H"*, se dispone el equipamiento esencial o mínimo, para los buques que estén clasificados por ellos.

En el apartado H define el equipo esencial:

- H.1 Esencial para la operación formados por todas las plantas propulsoras
- H.2 Esencial y operacionalmente importante y necesarios para:
    - La propulsión y maniobrabilidad del buque
    - El mantenimiento de la seguridad del buque
    - La seguridad de la vida humana
- H.3 Maquinaria y plantas esenciales, que comprenden:
    - Unidades generadoras
    - Planta timón
    - Unidad de suministro fuel oíl

- Bomba lubricación
- Bomba de refrigeración de agua
- Compresor de aire de arranque y control
- Instalación de aire de arranque para motores principales y auxiliares
- Sopladores de aire de carga
- Turbos de gas de escape
- Instalación de hélice de paso variable
- Ventilación sala de máquinas
- Generación de agua caliente y vapor
- Sistemas de aceite térmico
- Bombas hidráulicas
- Unidades de tratamiento de Fuel Oíl
- Bombas de trasiego de Fuel Oíl
- Unidades de tratamiento de aceite de lubricación
- Bombas de lastre y sentinas
- Bombas de contraincendios y equipamiento de contraincendios
- Equipamiento de amarre
- Hélices transversales
- Ventilación zona peligrosas

- Virador para motores principales
- Rampas de proa y popa, así como aperturas de casco
- Equipamiento de cierre de puertas de mamparos
- Bombas de agua de alimentación

3.2.3. Planta propulsora y sistemas

El corazón de la sala de máquinas, en la mayoría de los buques, es la planta propulsora. La selección de ésta y, de sus parámetros de funcionamiento, va a definir los demás equipos. Hay que resaltar, que todas las marcas de motores funcionan con parámetros muy similares.

El motor seleccionado para el presente estudio, va a ser un Wärtsilä RTA 48 (6). Tanto Wärtsilä (www.wartsila.com) como MAN (http://marine.man.eu/) son fabricantes muy implantados en el mundo naval, tanto como fabricantes directos, como concesionarias de sus patentes.

En este caso, la selección de materiales del que está compuesto el motor es una decisión del propio fabricante y de las pautas que marcan las sociedades clasificadoras.

Pero la planta propulsora y su selección, tal y cómo se ha comentado anteriormente, es la que va a definir una gran parte del equipo auxiliar elegido. Además, para el objeto de estudio de este trabajo, esos equipos auxiliares van a determinar las variables fisicoquímicas y, por ende, el tipo de recubrimiento a aplicar. Si la planta propulsora funciona con diésel oíl, las tuberías de suministro de combustible trabajarían a temperatura ambiente, mientras que, si fuera un motor a fuel oíl, la temperatura de servicio podría variar hasta los 140ºC, requiriéndose ya calorifugado, por lo que el procedimiento de pintado cambiaría.

Dentro del manual de funcionamiento del motor elegido para nuestro estudio

se dispone de una tabla (6), en donde el fabricante define todos los fluidos, y en que parámetros de temperatura y presión deben funcionar, para que el motor trabaje en óptimas condiciones.

La única variable de rango de funcionamiento del motor que queda a criterio del armador es el combustible. En nuestro caso se va a seleccionar un Fuel Oíl, HFO 380.

Una vez definido los parámetros de funcionamiento del motor principal, se definen los distintos sistemas de la sala de máquinas. La Tabla 3.1. muestra los distintos sistemas de la sala de máquinas obtenidos de la definición de equipos y dependiendo de los parámetros de funcionamiento.

Con todo ello, mediante las normas de las sociedades clasificadoras, definiremos los distintos materiales de la sala de máquinas.

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

3.3.1. Materiales de los equipos

Cuando se diseña la sala de máquinas hay un compendio de máquinas y equipos que están diseñados por fabricantes externos al astillero y que, normalmente, están definidos en una “lista de proveedores autorizados”. Esta lista está compuesta por proveedores autorizados y recomendados por el armador o por el astillero. Estos fabricantes son empresas especialistas que suministran equipos muy concretos, la mayoría de las veces mediante módulos que incluyen la tubería, válvulas, bandejas de rebose, cuadros eléctricos, etc. Están certificados por las sociedades clasificadoras, por lo que la selección del material, pinturas, etc., son de una calidad de diseño no cuestionable. Ahora bien, el astillero cuando realiza una operación de compra debe hacerla mediante una especificación técnica de compra donde expone todas sus necesidades operativas y de calidad del módulo a adquirir.

La especificación técnica es además un elemento contractual, por lo que todo lo que no aparezca en ella, no será objeto de reclamación posterior.

Tabla 3.1.

Fluidos y valores de temperatura y presión de trabajo sala máquinas.

EQUIPO	CIRCUITO	PRODUCTO	TEMPERATURA MÁXIMA	PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO
VAPOR	VAPOR	VAPOR	170ºC	7 bar
	CONDESADO	AGUA ALIMENTACIÓN	80ºC	7 bar
COMBUSTIBLE	SISTEMA DO	DIESEL OÍL	AMBIENTE	7 bar
	SISTEMA FO	IFO 380	150ºC	10 bar
LUBRICACIÓN		ACEITE	80ºC	10 bar
SISTEMA CENTRALIZADO	REFRIGERACIÓN AGUA DULCE	AGUA DULCE TRATADA	95ºC	5 bar
SISTEMA AGUA MAR	REFRIGERACIÓN	AGUA SALADA	AMBIENTE	5 bar
GENERACIÓN AGUA DULCE	AGUA SALADA	AGUA SALADA	AMBIENTE	5 bar
	AGUA DULCE	AGUA DULCE	90ºC	5 bar
AGUA DULCE	AGUA DULCE	AGUA DULCE	AMBIENTE	5 bar
	AGUA POTABLE	AGUA POTABLE	AMBIENTE	5 bar
	AGUA CALIENTE	AGUA DULCE	60ºC	5 bar
LODOS	INCINERADOR	LODOS HIDROCARBUROS	90ºC	5 bar
SENTINAS	SEPARADOR	AGUAS OLEAGINOSAS	AMBIENTE	5 bar
SÉPTICO	UNIDAD	AGUAS NEGRAS	AMBIENTE	5 bar
AIRE COMPRIMIDO	COMPRESOR	AIRE COMPRIMIDO	AMBIENTE	20 bar
VENTILACIÓN SALA MAQUINAS	VENTILADORES	AIRE	AMBIENTE	1 bar
	ESCAPE	GASES DE ESCAPE	450ºC	1 bar
SISTEMA CONTRAINCENDIOS	SISTEMA SECO	AGUA SALADA	AMBIENTE	5 bar
	SISTEMA HÚMEDO	AGUA SALADA	AMBIENTE	5 bar

Fuente: Elaboración propia

A modo de ejemplo, ante un suministro de un módulo hidráulico, como el de la Figura 3.1., no podremos especificar el material de la propia bomba, pero sí se podrá especificar claramente el material de las tuberías, válvulas, bandejas, etc., así como la calidad de la pintura, con el fin de que, todos elementos sean compatibles con el resto de la instalación. Es importante que la especificación sea lo más amplia posible, no solo en conceptos de

funcionamiento, sino también en propiedades de los materiales implicados y tratamientos. No se puede permitir que el módulo suministrado sea de inferior calidad que el conjunto de la sala de máquinas, o que el material sea incompatible con la instalación.

Figura 3.1.: Módulo hidráulico en taller de fabricación.

Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo de incompatibilidad de materiales se daría en el caso de los sistemas de agua salada, donde se utilizan ampliamente materiales de alta calidad como los aceros inoxidables (tanto en tubería como en fundición para carcasas de bombas) y aleaciones de cobre como la Cu-Ni 90-10 (material CW-235H de la norma EN-12449). Pero entre ellos son incompatibles debido a los problemas de corrosión galvánica, por lo que, sería impensable usar una bomba con carcasa de acero inoxidable (fundición 316) con tubería de Cu-Ni 90-10, ya que la corrosión galvánica destruiría la tubería en cuestión de tiempo (7).

3.3.2. Tuberías

Para definir el tipo de tubería y válvulas, es necesario saber la temperatura, presión y fluido que transporta. (Tabla 3.1.)

Con esos datos las sociedades clasificadoras hacen una clasificación, definiendo las tuberías en tres tipos como se detalla en la Tabla 10.2. del Anexo 2, donde se observa la clasificación hecha por la sociedad clasificadora Germanische Lloyds de tipos de tuberías según valores de proceso y fluidos.

Dentro de los materiales a usar, las tuberías y accesorios, es el que más margen de uso nos ofrece, pudiendo optar por tuberías de acero al carbono, acero inoxidable, aleaciones de cobre e incluso materiales poliméricos. En la Tabla 10.3. del Anexo 2 se puede ver los tipos de materiales a usar.

Las sociedades de clasificación definen absolutamente todo el material a utilizar en un barco en sus distintos dosieres, por lo que el dato obtenido en la Tabla 10.3. del Anexo 2, sirve como guía: por ejemplo, si nos decantamos por un acero al carbono para saber qué tipos de acero estandarizado se puede emplear para esa aplicación.

Por regla general se va a usar tuberías de acero al carbono y válvulas de fundición; en caso de usar otro tipo de material, se debe justificar el motivo de su uso.

Para ilustrar y facilitar el entendimiento de tal información se presenta a continuación un ejemplo:

- Fluido y parámetro de funcionamiento:
    - Fluido: HFO 380
    - Temperatura de servicio: 140 ºC
    - Presión de servicio: 10 bares

- Con los datos anteriores y la Tabla de 10.2. del Anexo 2, se obtiene como clasificación de tubería, Tipo II.

- En la Tabla 10.3. del Anexo 2, para esta clase de tubería y definiendo el material como acero al carbono, nos remite a tubería de uso general En la Tabla 3.2. se expone los tipos de aceros al carbono de uso general que permite la sociedad clasificadora Germanische para tuberías.

Tabla 3.2.

Tabla de selección de tuberías.

Strength category or pipe grade to Table 2.5	Corresponding pipe grade to			
	EN 10216-1 [1] or EN 10217-1 [2]	EN 10216-3 [1] or EN 10217-3 [2]	EN 10305-1	EN 10305-2
GL–R 360	P235TR2		E235+N	E235+N
GL–R 410	P265TR2	P275NL1		E275+N
GL–R 490		P355N	E355+N	E355+N
[1] seamless [2] welded				

Fuente: Germanische Lloyd SE, “Rules for classification and construction – ship technology II Materials and Welding 1 Metallic Materials 2 Steel and Iron Materials.” 2009.

Los resultados de todos estos análisis se reflejan en la Tabla 10.4 del Anexo 2. A modo de resumén podemos ver en la Tabla 3.3. los resultados para el sistema de combustible obtenidos en el ejemplo anterior.

La intención del presente estudio, es utilizar el mayor número de materiales posibles para de este modo poder definir un mayor número de procedimientos, por lo que en el caso de la tubería de agua salada se ha tomado la decisión de utilizar tubería de Cu-Ni 90-10, debido a su excelente resistencia a la corrosión en ambiente marítimo (8) además de ser materiales homologados por las sociedades clasificadoras.

Tabla 3.3.

Selección de materiales para el sistema de FO.

CIRCUITO	SUB EQUIPOS	PRODUCTO	RECUBRIMIENTO MECÁNICO	PRODUCTO (EN CONTACTO CON EL RECUBRIMIENTO)	CLASE SEGÚN CLASIFICADORA	NORMA MATERIAL	MATERIAL
FO TRASIEGO							
FO TRATAMIENTO	BOMBAS	IFO 380	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	NO	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	NO	NO	II	EN-10213-2	WCB
	DEPURADORAS	IFO 380	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	SI	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	SI	NO	II	EN-10213-2	WCB
FO CONSUMO	BOMBAS	IFO 380	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	SI	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	SI	NO	II	EN-10213-2	WCB

Fuente elaboracion propia.

También se ha decantado el uso en acero inoxidable para todas las tuberías que se utilicen para agua potable, debido a su buen comportamiento ante la legionella con respecto a otros materiales metálicos (9). También en la ventilación debido a su resistencia ante ambiente salinos y contaminados.

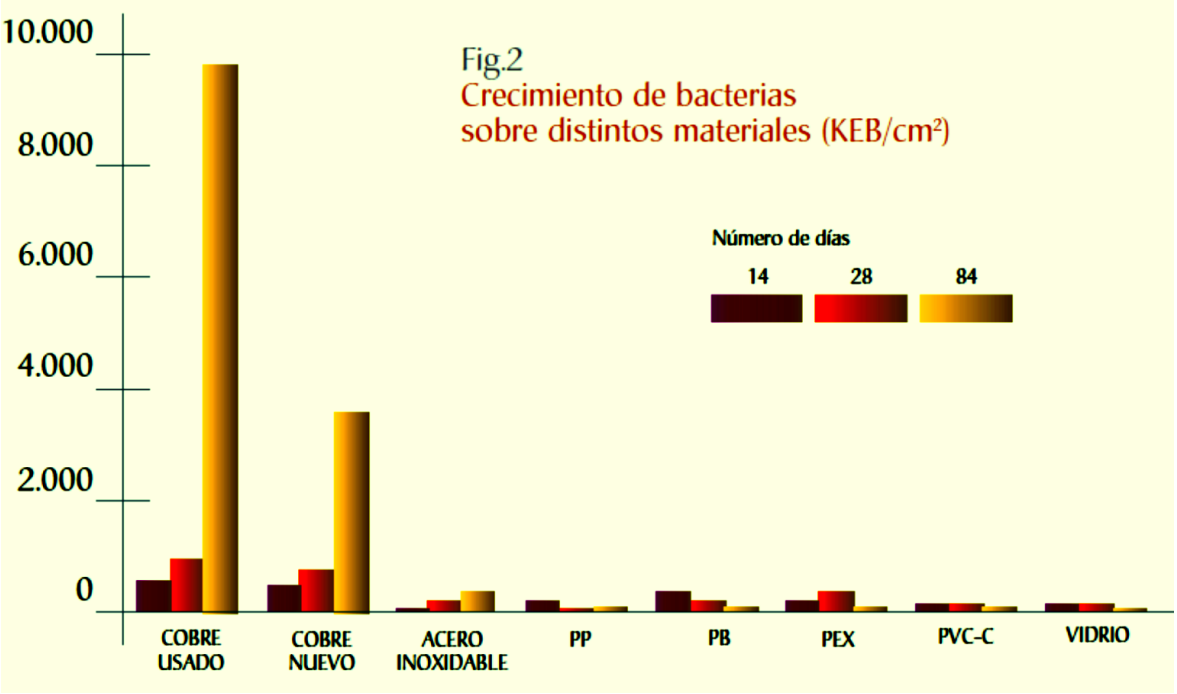


Figura 3.2.: Esquema proliferación de la legionella sobre distintos materiales.

Fuente: Las conducciones de agua y la legionella. Informe Técnico Asetub (10)

Se va usar aceros galvanizados, cuyos procesos de galvanizado en caliente sean según normativas internacionales como UNE EN-10240 para tuberías o la norma UNE EN-10147 en chapa. Se utilizarán en las tuberías que transporte aire con posibilidad de condensaciones o tuberías secas en sistemas contraincendios.

Para sistemas de escape, que en su mayoría son diámetro grandes, se utilizará plancha conformada usando P235 GH según EN10028, debido a su gran resistencia a la temperatura.

Para válvulas y tornillería se han escogido materiales compatibles con la tubería, según la Tabla 10.3. del Anexo 2.

Es importante en el caso de sistemas con materiales como Cu-Ni 90-10 y aceros inoxidables el uso de equipos con materiales de potencial electroquímico similar y vigilar la relación de área, para evitar corrosión galvánica (11), (Figura 3.3.).

3.3.3. Tanques

En este apartado se abordan los tanques y los depósitos a presión, excluyendo a la caldera, ya que es un elemento de fabricación de una empresa especialista.

Observando la Tabla 10.4. del Anexo 2, podemos comprobar, que todos los tanques atmosféricos operan a temperaturas en el rango entre la temperatura ambiente y 100ºC, lo cual permite utilizar aceros estructurales navales, del mismo tipo que el resto del buque. Estos aceros no tienen equivalencia directa con ninguna norma ISO, EN, etc., pero a nivel de estudio, se puede comparar a cualquier acero estructural, tipo S275JR EN 10025-2: 2004 o SIS 400 para el estándar japonés.

Debido a su baja resistencia a la corrosión de estos aceros se utilizarán sistemas de pintado que serán explicados en capítulos posteriores.(12)

Como tanques especiales, disponemos de los depósitos a presión, como las botellas de aire comprimido, hidróforos de agua dulce, etc., que en este caso serán fabricados en aceros más resistentes a la presión y temperatura de trabajo.

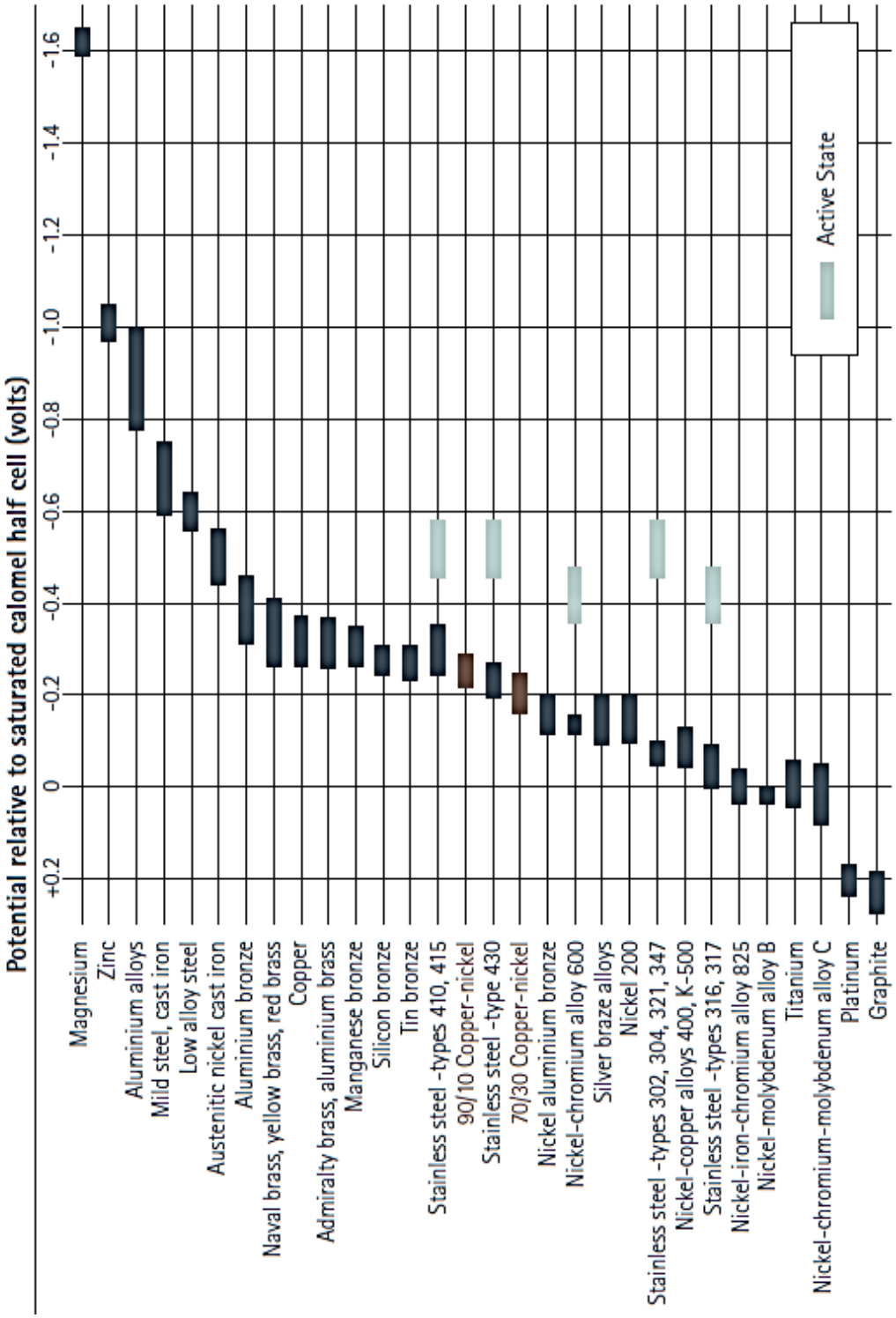


Figura 3.3.: Pares galvánicos distintos materiales.

Fuente: “Copper Alloy for Marine Enviromental” Copper Development Association

Como materiales distintos al acero bajo en carbono, dispondremos del tanque hidróforo de agua potable y agua caliente, que será de acero inoxidable AISI 316.

3.3.4. Estructuras

La estructura de la sala de máquinas está compuesta, por un lado, la estructura que pertenece al casco del barco y por otro la estructura auxiliar de la sala máquinas, que es necesaria para la operativa de ésta, como puede ser escaleras, tramex, suportación de tubería etc. En este apartado vamos a hablar de este segundo tipo.

La estructura será de acero naval, del tipo que sea necesario por cálculo.

En la mayoría de los casos, la estructura, está expuesta únicamente al ambiente de la sala de máquinas. Pero también, hay una parte de la estructura que está sumergida o expuesta puntualmente a efectos de líquidos como aceite, agua, etc.

Las partes estructurales que están sometidas a un mayor riesgo de experimentar corrosión son:

- **Bandejas de reboses:** Alrededor de los tanques, de los equipos que operan con fluidos, etc., se dispone de un recipiente que recoge las fugas, drenajes, vaciado, etc. Los productos entran en contacto con el metal, produciéndose, en ocasiones, la inundación de la bandeja. Disponen de drenajes que conducen el líquido hasta el sistema de lodos, o sentinas, dependiendo del fluido. Como ejemplo, se puede ver la Figura 3.4., donde se aprecia la bandeja de reboses pintada de distinto color debido a que es un recubrimiento resistente al agua e hidrocarburos.

- **Sentinas:** Se conoce como el espacio que se encuentra en la parte más baja de la sala de máquinas. Ahí se acumulan todos los fluidos no

oleosos de la sala de máquinas. De forma esporádica también se acumula fluidos oleosos, debido a acciones accidentales. Es un área inundaba, aunque no debe estar con líquido más allá de los pocetes de sentinas que se disponen en la misma.

Figura 3.4.: Compresor de aire.

Fuente: Elaboración propia

Por último, se va hacer mención a las zonas de tránsito de personas. Los materiales empleados para las zonas transitable en la sala de máquinas van a ser de acero al carbono. Deben poseer un coeficiente de rozamiento que permita el tránsito de personas sin riegos a resbalamientos, (13) Para ello se utilizará los siguientes métodos:

- Tramex, que se utilizará galvanizado según norma UNE 36750-1
- Chapa lagrimada según norma EN 10363
- Pintura antideslizamiento

4. DISEÑO

4.1. INTRODUCCIÓN

Como se habló anteriormente, tras ser seleccionado los materiales y definidas las variables fisicoquímicas a las que van a estar sometidas la sala de máquinas, en este apartado se van a definir las variables ambientales. Son variables donde el diseñador no puede decidir, ya que son impuestas por la navegación del buque. La pintura en la mayoría de los casos sirve para proteger el equipo de estas condiciones, por lo que su estudio es necesario.

Realmente, ya con los materiales seleccionados, y sabiendo las condiciones de trabajo, es cuando empieza el proceso de ingeniería, fabricación e inspección del área encargada de pinturas.

El cómo enfocar un proyecto desde inicio es una tarea muy ardua en cualquier proceso de ingeniería. La norma ISO 12944-8 es una norma creada *ex profeso* para elaborar especificaciones de pintura. En ella se dan unas pautas de cómo elaborarla.

En el Anexo C de dicha norma se expone un diagrama que se usa de referencia para elaborar especificaciones de pintura. Este diagrama es adaptable y no son normativos, es decir, hay que usarlos de guía. En la Figura 4.1. se puede ver la adaptación para este trabajo. Esta norma, además, va dictando los pasos que se deben realizar, y sobre qué normas nos debemos de apoyar.

Atendiendo a la información de la Figura 4.1., los recuadros con fondo en color marrón corresponden a la parte que se desarrollará en este trabajo. Y con relación a la fase diseño son los cinco primeros recuadros, los dos siguientes son las fases recogidas en este trabajo que se ejecutan en campo. El resto de fases son las propias de ejecución de las especificaciones desarrolladas en la fase diseño. Se desarrollará apoyándonos sobre todo en la ISO12944, que,

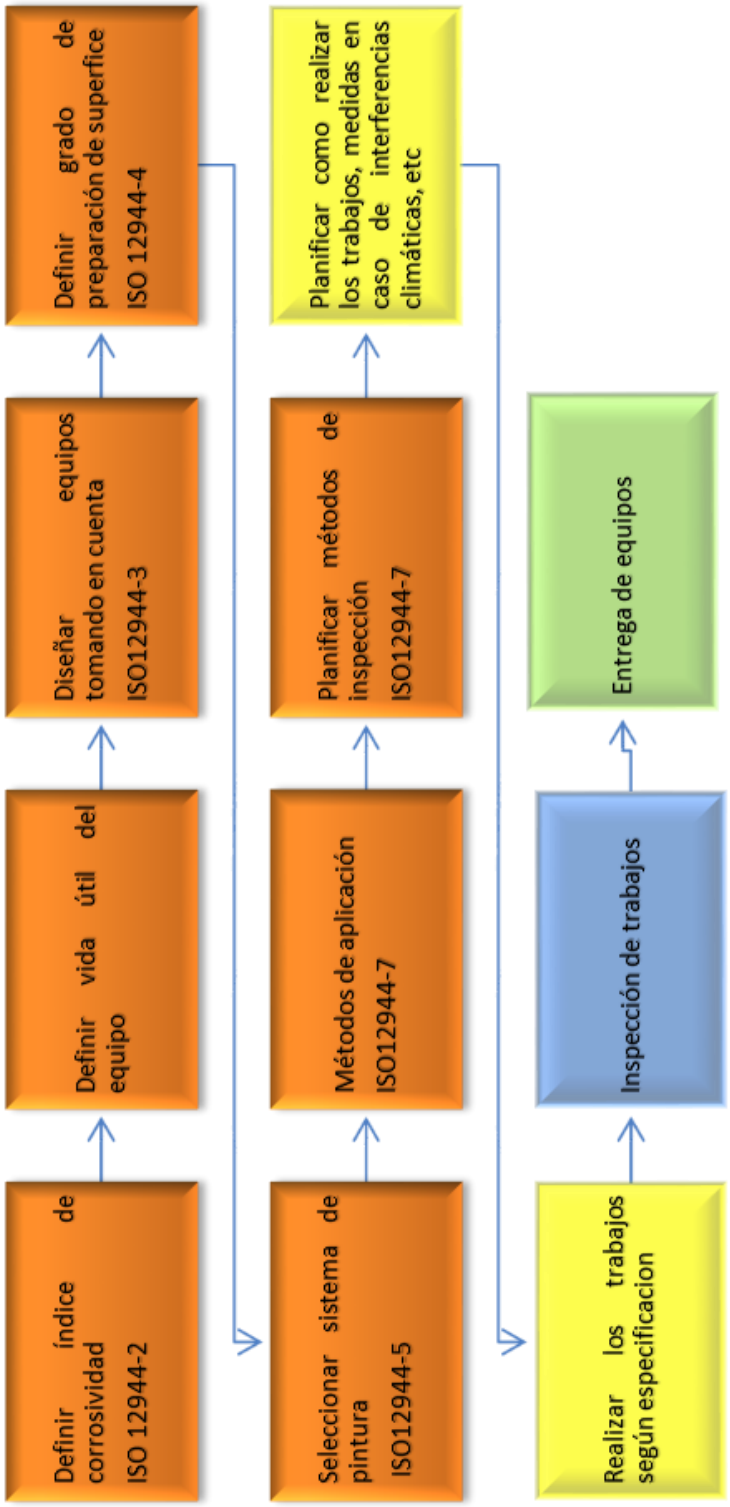


Figura 4.1.: Adaptación Anexo C norma ISO 12944.

Fuente: Elaboración propia

aunque es una norma de estructuras, realmente es una norma que define perfectamente todas las necesidades de ingeniería en lo que respecta a selección y protocolo de aplicación de pinturas.

En amarillo es la fase de la aplicación de la pintura en cada lugar de trabajo. El objetivo de este trabajo es la realización de una especificación estándar y, por lo tanto, la fase de aplicación, la cual está definida por dónde y cuándo se realiza, sería propia de cada proyecto, y no de una especificación estándar.

En morado hemos definido la fase de control de calidad. Tras la aplicación de las pinturas, en esta fase se hacen las inspecciones de los trabajos realizados. Al igual que la fase de aplicación, esta fase es la realización de lo estipulado en la especificación de pintura. Hemos de entender la importancia de este punto, ya que muchas veces es un hito de facturación o de aceptación del trabajo. La correcta realización del informe, y de su aprobación por parte del cliente, va a ser parte de la aceptación final del proyecto.

Dentro de este trabajo también se desarrolla el mantenimiento, que lo haremos de manera independiente al flujo especificado en la Figura 4.1. Hay que reseñar que la norma ISO 12944-8 también desarrolla un flujo para programar los trabajos de mantenimiento.

4.2. AMBIENTE

4.2.1 Definición de ambiente

La definición del ambiente en el que se encuentra la sala de máquinas viene impuesta por el propio barco. Según las sociedades clasificadoras las condiciones ambientales de la sala de máquinas como partida de diseño se detallan en la Tabla 4.1. y 4.2.:

Tabla 4.1.

Definición de temperatura ambiental en sala de máquinas.

at atmospheric pressure = 1000 mbar
and relative humidity = 60 %

Installations, components	Location, arrangement	Temperature range [°C]
Machinery and electrical installations [1]	in enclosed spaces	0 to 45 [2]
	on machinery components, boilers	According to specific local conditions
	in spaces, subject to higher or lower temperatures	
	on the open deck	- 25 to + 45

1 Electronic appliances shall be designed and tested to ensure trouble-free operation even at a constant air temperature of + 55 °C.

2 GL may approve lower air temperatures for ships designed only for service in particular geographical areas.

Fuente: Germanischer Lloyd SE, "Rules for classification and construction – I ship technology 1 Seagoing Ships 2 Machinery Installations," 2016.

Tabla 4.2.

Definición de otras condiciones ambientales de las salas de máquinas.

Location	Conditions
in all spaces	Ability to withstand oil vapour and salt-laden air
	Trouble-free operation within the temperature ranges stated in Table 1.3, and with a relative humidity up to 100 % at a reference temperature of 45 °C
	Tolerance to condensation is assumed
In specially protected control rooms	80 % relative humidity at a reference temperature of 45 °C
On the open deck	Ability to withstand temporary flooding with seawater and salt-laden spray

Fuente: Germanischer Lloyd SE, "Rules for classification and construction – I ship technology 1 Seagoing Ships 2 Machinery Installations," 2016.

Aunque se asume de inicio, una humedad del 60% y un rango de temperatura de 0 a 45ºC, las propias sociedades admiten un punto desfavorable de 45ºC y 100% de humedad, además de otros condicionantes, como, presencia de vapores de aceite y aire húmedo salino.

La norma ISO 12944-2 define los ambientes de trabajo de los equipos. Los divide en dos grupos: los que están sujetos a la acción directa del aire, y los que interactúan con agua.

Esta norma se basa en la ISO 9223 para definir los ambientes; para ello usa la pérdida de masa del acero al carbono y el zinc tras el primer año de uso, como dato empírico para esta clasificación. Se catalogan en cinco niveles los ambientes corrosivos, siendo el último nivel dividido en dos subniveles, industrial y marítimo, como se puede ver en la Tabla 4.3. Para el estudio se asumirá que el ambiente va a ser el C5-M, ya que como define la norma es el ambiente correspondiente a estructuras que se encuentran en la mar: la propia norma afirma que, ante situaciones críticas de humedad y temperatura, como la que sufre la sala de máquinas, la corrosión se verá incrementada.

Además, también define las situaciones especiales a las que se puede ver sometido las estructuras. En el caso de la sala de máquinas es muy importante las tensiones creadas en el material por diferencia de temperatura o fluencia, en el caso de equipos que la temperatura de servicio sea alta, como calderas, tubería de vapor, y la tensión provocada por condensaciones, como es el caso de equipos, cuyos fluidos sean inferiores al punto de rocío de la sala de máquinas, en el caso de que no estén calorifugado.

La norma ISO 12944-2 también hace referencia a los equipos que se encuentran de continuo en condiciones de inundación y enterradas, como se puede ver en la Tabla 4.4. En nuestro caso sería IM2, debido a que, la IM3 es para equipos enterrados en suelo, y la IM1 es para equipos que estén sumergidos en agua dulce, siendo la IM2 más restrictiva, por lo tanto, se adapta mejor a los cambios geográficos de operación de los buques.

Tabla 4.3.

Definición de los ambientes según norma ISO 12944-2.

Categoría de Corrosión	Tipo de Ambiente	
	Exterior	Interior
C1 Muy baja	-	Edificios con calefacción y atmósferas limpias
C2 Baja	Atmósferas con bajos niveles de contaminación. Áreas rurales.	Edificios sin calefacción con posibles condensaciones.
C3 Media	Atmósferas urbanas e industriales, con moderada contaminación de SO_2. Áreas costeras con baja salinidad.	Naves de fabricación con elevada humedad y con alguna contaminación.
C4 Alta	Áreas industriales y áreas costeras con moderada salinidad.	Industrias químicas y piscinas.
C5-I Muy alta (industrial)	Áreas industriales con elevada humedad y con atmósfera agresiva.	Edificios o áreas con condensaciones casi permanentes y contaminación elevada.
C5-M Muy alta (marítima)	Áreas costeras y marítimas con elevada salinidad.	Edificios o áreas con condensaciones permanentes y contaminación elevada.

Fuente: Norma ISO 12944-2

Tabla 4.4.

Categoría de estructuras inundadas según norma ISO 12944-2.

Categoría de Corrosión	Tipo de Ambiente	Ejemplos
Im 1	Agua dulce	Instalaciones ribereñas, centrales hidroeléctricas.
Im 2	Agua de mar o salobre	Áreas portuarias con estructuras tales como puertas de contención, esclusas, rompeolas o estructuras de ultramar
Im 3	Suelo	Tanques enterrados, pilotes de acero y tuberías de acero.

Fuente: Norma ISO 12944-2

4.2.2 Vida Útil

La norma ISO 12944-5 define la vida útil del equipo con relación a los protocolos de pintura necesarios e impuestos por las condiciones ambientales que potencian el riesgo de corrosión de las estructuras. En este caso, no se entiende como los años de garantía del protocolo de pintura sin realizar mantenimientos, sino como unos parámetros indicativos.

En los buques se realizan trabajos de mantenimiento de pinturas, por lo que la vida útil de los equipos se puede alargar, siempre y cuando se realice unos estudios correctos de la degradación del protocolo de pintura durante el funcionamiento del equipo. Por ello lo correcto sería aplicar un mantenimiento predictivo de la pintura, y realizar un trabajo de mantenimiento cuando se llegue a un grado de oxidación Ri3 según la norma ISO 4628-3, que implica un 1% de superficie oxidada.

Sobre las condiciones ambientales en un buque, en la práctica pueden ser muy cambiantes y en muy breve periodo de tiempo, debido a que, es una estructura móvil y por lo tanto sujeto que desplazarse por el mundo, pudiendo cambiar de zonas geográficas con distintas condiciones climáticas en un solo viaje, por lo que, la duración del recubrimiento de pintura puede variar del previsto inicialmente.

Se asume que el armador va a dar una vida útil del buque de 10 años, entendiendo que las condiciones especiales a las que se ven expuesto los buques pueden reducir la durabilidad de los recubrimientos, por lo que vamos asumir una vida útil de 15 años del protocolo de pintura.

Según la norma ISO 12944-5 la durabilidad del sistema de pintura va estar sujeta a unos parámetros tales como:

- Diseño de los equipos
- Condiciones del sustrato antes de la aplicación

- Grado de preparación de la superficie
- Calidad del trabajo de preparación
- Condiciones de las uniones, bordes, etc.
- Tipo de sistema de pintura
- Estándar del trabajo de aplicación
- Condiciones durante la aplicación
- Condiciones de trabajo

Todos estos puntos se definirán en los siguientes capítulos.

4.3. DISEÑO DE EQUIPOS

El objetivo de la pintura es proteger a los equipos durante su vida útil frente a la corrosión, por lo tanto, es muy importante:

- Preparar correctamente la superficie
- Proteger mediante el recubrimiento toda la superficie
- Reducir la acción de los agentes corrosivos

Para conseguirlo en la fase diseño de los distintos componentes que forman una sala de máquinas se deben tener en cuenta unas pautas de diseño para lograr el cumplimiento de los mismos (14).

Una sala de máquinas es un espacio donde hay multitud de equipos, estructuras, etc., de diferente geometría, por lo que realizar la preparación y protección de la superficie correctamente es una tarea difícil.

Independientemente del grado de experiencia de los diseñadores, la norma

ISO 12944-3 da una serie de pautas para obtener un diseño del equipo que permita que se cumpla los conceptos anteriormente comentados. Según esta norma los puntos a trabajar para poder obtener los resultados óptimos son:

4.3.1 Accesibilidad

Tanto la preparación, como el pintado se realizan con herramientas que necesitan un espacio mínimo para poder trabajar; por ello, se ha de intentar dejar el máximo espacio para que el operario pueda realizar su actividad para obtener el resultado deseado. Las herramientas suelen ser pistolas de granallado, equipos de pintado, etc. El ejemplo es la Figura 4.2.

En el concepto de accesibilidad, también se entiende el acceso que se ha de dispensar a las distintas partes cerradas de las instalaciones, para poder ejecutar los trabajos de acabado, tras el ensamblaje, o los trabajos de mantenimiento. Por ejemplo, los tanques que dispongan pasos de hombre adecuados.

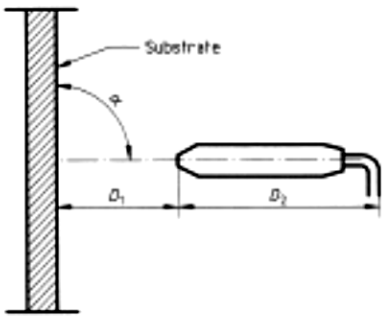
También es importante evitar dejar espacios estrechos entre elementos que no permita el acceso adecuado para el trabajo, por ejemplo, entre perfiles, tal y cómo se puede ver en la Figura 4.3.

Cuando realmente no se puede buscar otras opciones de accesibilidad, la mejor opción que queda es buscar elementos con materiales con mejor resistencia a la corrosión.

Annex A
(informative)

ACCESSIBILITY – TYPICAL DISTANCES REQUIRED FOR TOOLS IN CORROSION PROTECTION WORK

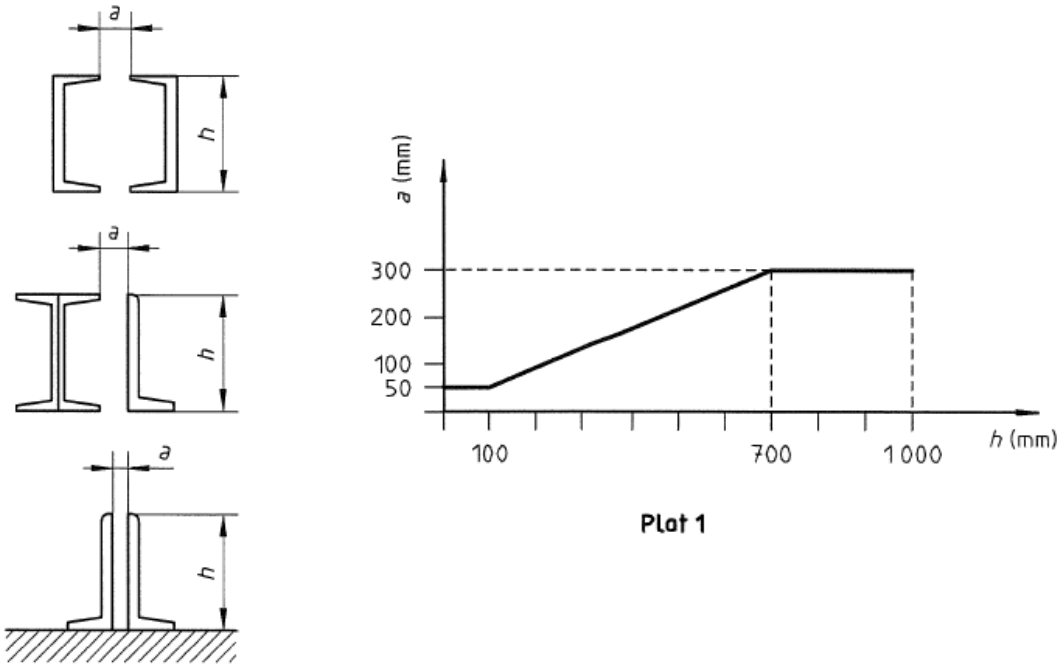
Operation	Length of tool (D_2) mm	Distance between tool and substrate (D_1) mm	Angle of operation (α) degrees
Abrasive blast-cleaning	800	200 to 400	60 to 90
Power-tool cleaning - by needle gun - by rubbing/grinding	 250 to 350 100 to 150	 0 0	 30 to 90 -
Hand-tool cleaning - by brushing / chipping	 100	 0	 0 to 30
Metal spraying	300	150 to 200	90
Paint application - by spraying - by brush - by roller	 200 to 300 200 200	 200 to 300 0 0	 90 45 to 90 10 to 90



α angle made by the axis of the tool with the substrate
D_1 distance from tool to substrate
D_2 length of tool

Figura 4.2.: Espacios recomendados para uso de distintos equipos de pintura según ISO 12944-3.

Fuente: Norma ISO 12944-3



a) **b)**

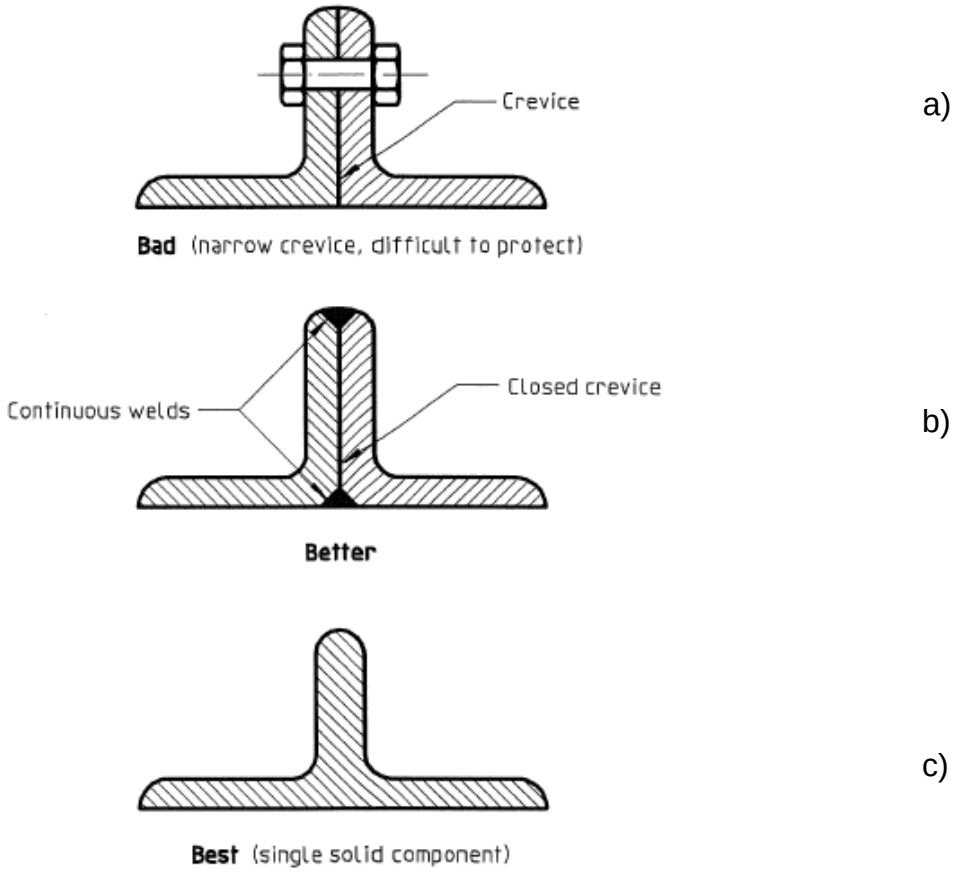
Figura 4.3.: En la Figura a) se muestra la distancia que deben tener los distintos perfiles cuando se disponen juntos. En la Figura b) se muestra el gráfico donde se correlaciona en abscisas la distancia entre perfiles y en ordenada la altura de estos perfiles.

Fuente: Norma ISO 12944-3

4.3.2 Holguras

La norma también dedica atención a evitar holguras, hendiduras, espacios donde se pueda acumular suciedad, humedad e, incluso elementos como el abrasivo de la preparación de la superficie, mediante la selección de sistema de unión de perfiles. En la Figura 4.4. se ve ejemplos de tipos de uniones y

sus correspondientes holguras.



a)

b)

c)

Figura 4.4.: Sistema de eliminación de holguras. a) la peor opción de unión. b), la unión soldada es mejor que la atornillada. c) es la mejor opción, ya que no hay ningún tipo de holgura.

Fuente: Norma ISO 12944-3

4.3.3 Prevenir retención y depósitos de agua

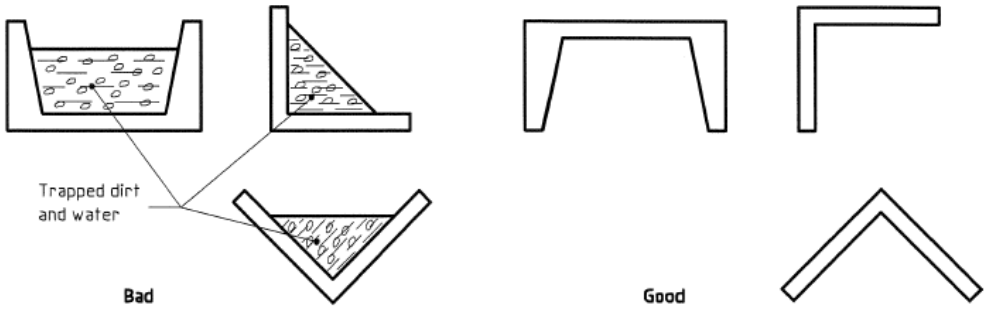
El agua salada y otros agentes corrosivos como aceites, combustible, químicas de aditivación, están presentes en la sala de máquinas de un buque, por lo que su estancamiento en equipos favorece el ataque por corrosión.

La manera correcta es diseñar los equipos para que cuando se produzca una fuga el líquido no se expanda por la sala de máquinas y se contenga la fuga,

pero, a su vez, no quede retenido en el lugar, sino que sea vertido a un tanque para su posterior tratamiento.

El ejemplo más claro son las bandejas de recogida que poseen casi todos los módulos que son susceptibles de derrames, como se puede ver en la Figura 3.4. Estas bandejas están canalizadas a los tanques de lodos, sentinas, etc. Estos módulos deben tener inclinación hacia el desagüe y, además, ser una superficie por donde el líquido pueda circular libremente.

Además, los perfiles de estructurales como U y L se recomiendan montar de manera que eviten la acumulación de líquidos en la imagen Figura 4.5. b)



a) b)

Figura 4.5.: En la Figura a) posición incorrecta de perfiles favoreciendo la acumulación. Figura b) posición correcta de montaje.

Fuente: Norma ISO 12944-3

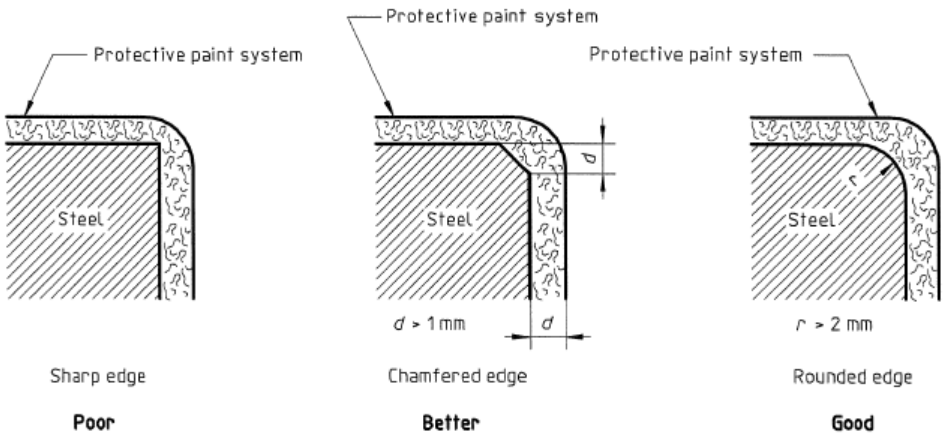
En el caso de tuberías, tanques, depósitos, etc., es recomendable evitar que el líquido se quede estancado, y en caso de ser inevitable, proveer de drenajes adecuados para vaciar la línea cuando sea necesario, o seguir idéntico protocolo que en el caso de los tanques.

4.3.4 Bordes y soldadura

La preparación de los bordes y la terminación de la soldadura es muy

importante. Por ello en la fase diseño se ha definir los tipos de bordes y los procesos de soldadura, con su correspondiente calidad de aceptación. Cuando se dedique atención a la preparación de superficie y bordes se referenciará a la norma ISO 8501-3, que define las calidades de bordes, grados de soldadura e imperfecciones de soldadura, dependiendo de la durabilidad buscado en la pintura.

Para comprender el concepto, se puede ver en la Figura 4.6.c), la preparación del borde permite un mayor espesor de capa, y de adhesión, lo que extiende la vida de la pintura. La norma ISO 12944-3 en su capítulo 5.4. exige como terminación mínima las Figura 4.6. b) y c)



a) b) c)

Figura 4.6.: Diferentes terminaciones de borde. Figura a) terminación no aceptada. La b) y c) aceptadas para las terminaciones según norma ISO 12944-3.

Fuente: Norma ISO 12944-3

4.3.5 Uniones longitudinales con transversal

Al unir estructuras longitudinales con transversales, o al realizar refuerzos, es importante que en la unión soldada de ambas partes se deje un vano (*notch*

en la Figura 4.7.), Esto es debidos a varios motivos: alivio de tensiones de soldadura, mejora el proceso de granallado y pintura y, durante el funcionamiento, evita la acumulación de suciedad y líquidos, retardando la corrosión.

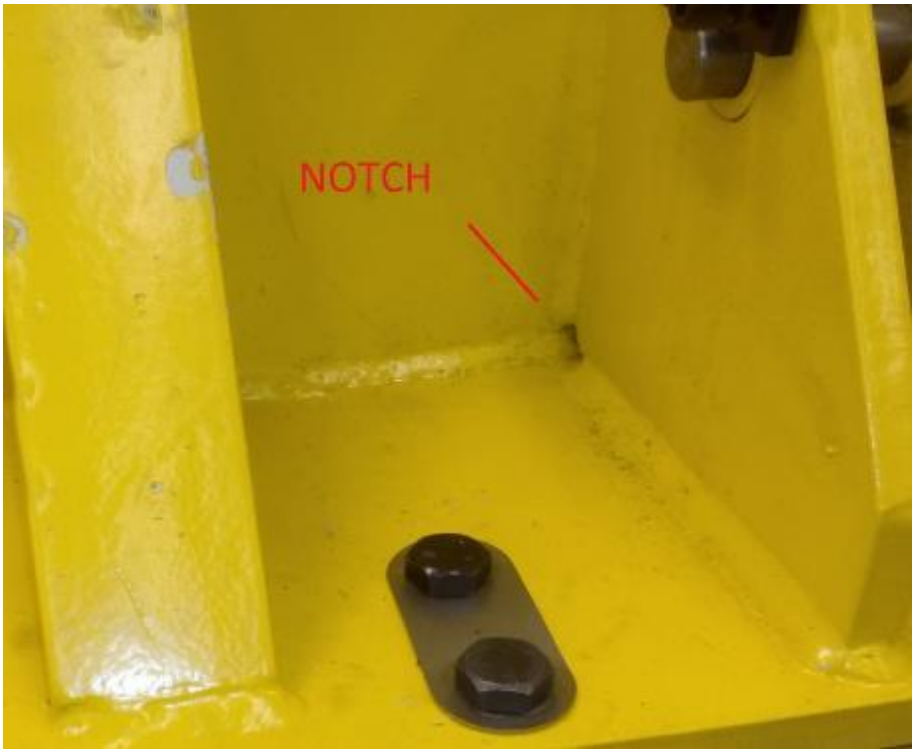


Figura 4.7.: Ejemplo de refuerzo con vano (*Notch*).

Fuente: Elaboración propia

4.3.6 Prevención de corrosión galvánica

Para evitar la corrosión galvánica, en fase diseño, el mejor método es elegir correctamente los materiales que componen los equipos. Para ello, y en la mayor medida posible, evitar materiales con diferentes potenciales galvánicos o según criterio que establece la serie de corrosión galvánica en agua de mar para ese caso. (Figura 3.3.)

4.3.7 Partes rozantes

Los barcos son elementos que están sometidos a numerosos estados tensionales, que hacen de él un elemento flexible, dentro de un cierto límite. Además, muchos equipos trabajan a temperaturas de servicio variables entre la fase reposo y la fase funcionamiento habiendo un gran diferencial de temperatura, que hace que sufran dilataciones y contracciones. Así, puede haber elementos rozantes que tengan desplazamientos relativos, produciendo un desgaste entre ambas superficies.

Este rozamiento o fricción entre partes metálicas afecta también al recubrimiento, haciendo que desparezca, induciendo corrosión que, añadido al desgaste del material produce una reducción de la vida útil del equipo.

Para ello, lo correcto es que en fase diseño estudiar los elementos que están sometidos a rozamiento y disponer de elementos que reduzcan la fricción entre éstos, o directamente disponer elementos de sacrificio, que se desgasten realizando sustituciones de estos elementos de sacrifico durante la vida útil del equipo.

Un ejemplo tipo, de partes rozantes en una sala de máquinas, es la zona de contacto entre la tubería y su correspondiente suportación. Debido a las vibraciones del buque y las propias dilataciones de las tuberías se produce movimientos relativos entre ellos, que originan rozamiento y desgaste de pintura y material. Para temperaturas inferiores a 100ºC, es útil disponer de materiales plásticos entre el tubo y su soporte de tal manera que actúan de elementos de sacrificio, que cuando se desgastan son sustituidos, preservando de desgastes a la tubería y su soporte.

4.4. PREPARACIÓN DEL MATERIAL

La preparación de la superficie metálica es el primer paso antes de cualquier

proceso de aplicación del recubrimiento. Para que la pintura tenga la capacidad de adherirse al substrato creando la capa de protección duradera en el tiempo, la superficie debe ser tratada correctamente.

La preparación de la superficie no consiste únicamente en la eliminación superficial de elementos contaminantes como el polvo, calaminas, etc., sino la obtención de una superficie limpia de cualquier contaminante, con una rugosidad específica, y con los bordes correctamente preparados para la obtención de una adhesión correcta del recubrimiento (15).

Cada material necesita una preparación específica. En este Trabajo Fin de Grado se dispone de los materiales referenciados en la Tabla 10.4. del Anexo 2, que puede ser divididos en cuatro grupos materiales: aceros al carbono, aceros inoxidables, aceros galvanizados y aleación de cobre Cu-Ni 90-10.

El acero al carbono es el que necesita mayor preparación, debido a que sus cinéticas de corrosión en medio marino son muy elevadas (16) y, por lo tanto, el protocolo de pintura más crítico. Los otros tres sistemas metálicos se caracterizan porque no necesitan ser pintados, son resistentes a la corrosión y su recubrimiento va a ser más por motivos identificativos, por ejemplo, tubería en rojo en el caso de contraincendios, que métodos anticorrosivos.

En la Figura 4.8. se dispone el proceso de preparación de superficie que se va a desarrollar en este capítulo.

4.4.1 Marco normativo

En cuanto al marco normativo como se dijo en su momento, se basará siempre que se pueda en la norma ISO; en este caso también se van hacer referencias a las normas del SSPC (*Steel Structures Painting Council, EE. UU.*) y las normas del NACE (*National Association e Corrosion Engineers, EE. UU.*), ya

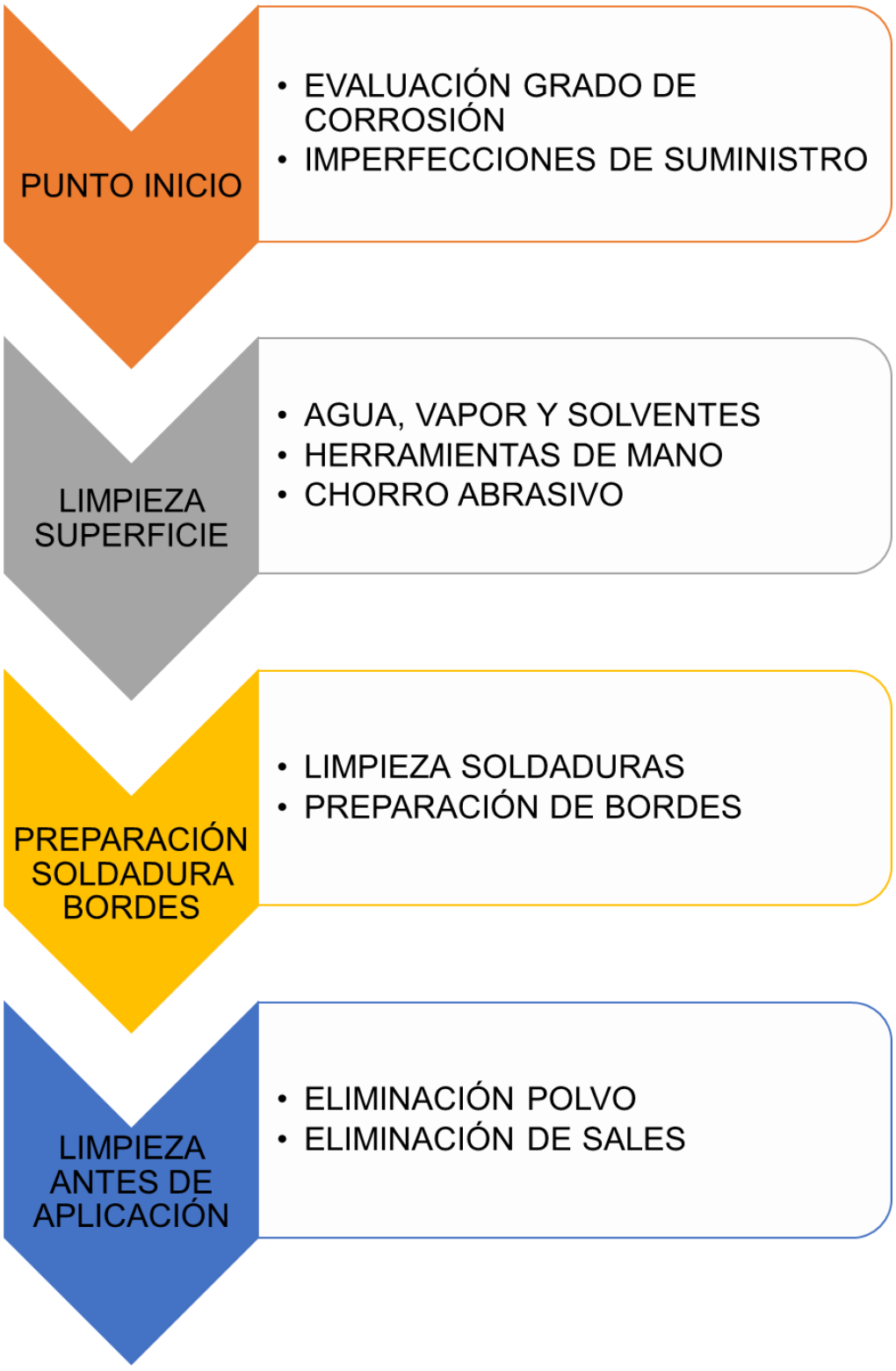


Figura 4.8.: Diagrama de proceso de preparación de superficie.

Fuente: Elaboración propia.

que son normas de amplio uso y se complementan en algunos casos con las normas ISO (17).

La norma base para el trabajo de preparación de superficie es la ISO 8501-1, desglosada en los siguientes capítulos.

4.4.2 Punto de inicio

Todo material está superficialmente contaminado por distintos productos, por lo que antes de comenzar el protocolo de pintura se deben eliminar. En el caso de aceros al carbono los contaminantes y su forma de eliminación son enunciados en la Tabla 4.5.

El producto que presenta mayor dificultad de limpieza es la calamina. La calamina es un producto que se produce solo en la superficie del acero al carbono o bajo y media aleación, en el momento de la laminación en caliente, por lo que desde el momento de manufactura inicial el acero al carbono comienza un proceso de corrosión (18).

El grado de corrosión del acero al carbono se debe definir antes de comenzar el tratamiento de la superficie, para saber hasta qué punto se puede llegar. La norma ISO 8501-1 define en cuatro grados la corrosión de un acero al carbono sin recubrir:

- **Grado A:** Superficie de acero al carbono con la calamina intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.
- **Grado B:** Superficie de acero al carbono con principio de corrosión en la que la calamina comienza a desprenderse.
- **Grado C:** Superficie de acero al carbono en donde la calamina ha sido eliminada por la corrosión, o la misma puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado cavidades visibles.

- **Grado D:** Superficie de acero al carbono en donde la capa de calamina ha sido eliminada por la corrosión y se han formado cavidades visibles notorias y abundantes.

Tabla 4.5.

Contaminantes en acero al carbono nuevo y recubierto. Método de eliminación.

Contaminante	Acero al carbono Nuevo	Acero al carbono pintado	Método
Calamina	Si	No	Chorreado Abrasivo
Óxido	Si	Si	Métodos mecánicos Chorreado Abrasivo
Aceite y grasa	Si	Si	Detergentes/aclarado
Sales	Si	Si	Agua dulce
Pintura Vieja	No	Si	Métodos mecánicos Chorreado Abrasivo Decapado
Polvo	Si	Si	Soplado

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 3 vemos los patrones fotográficos relativos a cada grado.

4.4.3 Limpieza de superficie

La norma de referencia de uso es la ISO 12944-4, y la ISO 8504 para la preparación de la superficie mediante elementos mecánicos y mediante elementos abrasivos. Para limpieza con elementos como agua, solventes, etc., la norma ISO 12944-4 en el punto 6.1 desarrolla sus métodos.

Todos los materiales antes de ser pintados deben ser preparados, ya sea mediante limpieza química, chorreado, medios mecánicos; la selección de un método u otro depende de las necesidades de adhesión del recubrimiento al substrato, ya que, en esta fase, también se debe dar el grado de rugosidad necesaria a la superficie.

En el caso que compete en este Trabajo Fin de Grado, nos vamos a centrar en el acero al carbono, ya que es el material que más trabajo de preparación de superficie necesita, ya que abarca el 100% de las fases de limpieza.

4.4.3.1. Limpieza mediante agua, vapor, solventes

Deben ser eliminados de la superficie el polvo, restos de aceites de los trabajos de mecanizado, como taladrinas, etc.

La limpieza mediante algunos de estos medios se realiza con el objeto de que, en los siguientes protocolos de limpieza, la superficie esté libre de contaminantes ajenos a los propios equipos de limpieza. Es fundamental llevar a cabo esta etapa correctamente ya que, si después se realiza un chorreado con algún abrasivo, éstos se contaminarán con los aceites, haciendo dificultosos o imposible su reutilización o correcto tratamiento como residuo.

El punto 6.1 de la norma 12944-4 desarrolla de forma clara la limpieza que se realiza: se utilizará agua, vapor a los que se les añadirá algún elemento químico de limpieza, o, directamente, se someterá a las superficies a agentes químicos para eliminar cualquier producto superficial.

En el punto 6.1.6 de la norma ISO 12944-4 se hace referencia al tratamiento químico a aplicar, en particular, a los aceros galvanizados para poder ser pintados.

La norma 12944-4 no recoge los trabajos en aceros inoxidables ni el sistema Cu-Ni 90-10. Para el acero inoxidable es importantísimo que, tras los trabajos de soldadura, mecanizado, etc., se realice una limpieza superficial y decapado en las zonas de soldadura. No es objeto de este trabajo hablar de los trabajos de decapado y pasivación del inoxidable, pero si es importante hacer mención que a los trabajos en campo habrá que hacer decapados locales en las soldaduras (19) ya que reducen la capacidad de resistencia a la corrosión.

4.4.3.2. Limpieza mediante herramientas de mano

La norma ISO 12944-4 remite a la norma ISO 8504-3, que pormenoriza la limpieza de las superficies mediante herramientas manuales y mecánicas, por lo que se entiende herramientas que usan electricidad o neumática como fuerza, así como manuales.

La norma explica los tipos de herramientas que abarcan este sistema; ahora bien, cualquier amoladora angular o recta, taladro, piquetas, etc., pueden realizar limpiezas de superficies.

Estos equipos tienen un uso muy restringido, ya que la limpieza superficial no es de la calidad de trabajo mediante abrasivo y, para obtener una gran calidad de trabajo final, la imputación de horas/hombre en la preparación hace que su rentabilidad sea nula (20). Además, mediante este método, no se puede quitar de forma óptima la calamina, por lo que no se puede usar aceros al carbono recién laminados.

Por el contrario, es muy óptimo para trabajar in situ, para realizar saneamientos de áreas pequeñas, por lo que, es interesante para zonas de soldadura, bordes, etc.

El grado de acabado se representa mediante las fotografías St2 y St3 para material desnudo y PSt2, PSt3 y PMa para material pintado según la norma ISO 8501-1 y 8501-2. Los patrones fotográficos dependiendo del grado de corrosión inicial del acero al carbono se presentan en el Anexo 3.

La definición de los grados St2 y St3 sería:

- **Grado St 2** Raspado, cepillado manual con cepillo de acero al carbono, cepillado a máquina, esmerilado a máquina, etc. de una manera minuciosa. Mediante el tratamiento se eliminan las capas sueltas de laminación, el óxido y las partículas extrañas. Luego se limpiará la superficie con un aspirador de polvo, aire comprimido limpio y seco o un cepillo limpio. Entonces deberá adquirir un suave brillo metálico. El aspecto deberá coincidir con las Figuras de la designación St 2 del Anexo 3.

- **Grado St 3** Raspado, cepillado manual con cepillo de acero al carbono, cepillado a máquina esmerilado a máquina, etc. de una manera muy minuciosa. La superficie se tratará como en el grado St 2 pero de una manera mucho más minuciosa. Después de quitar el polvo, la superficie deberá presentar un claro brillo metálico y su aspecto deberá coincidir con las figuras de la designación St 3 Anexo 3.

4.4.3.3. Limpieza mediante chorro abrasivo

El protocolo de limpieza mediante chorro abrasivo es una técnica de tratamiento superficial por impacto, en el que una máquina lanza a gran velocidad partículas abrasivas (65-110 m/seg) que, al impactar con la pieza, produce la eliminación de los contaminantes de la superficie (21).

En líneas generales es utilizado para:

- Desarenado y eliminación de laminillas de piezas de fundición base hierro y no férreas, piezas forjadas, etc.

- Decapado mecánico de alambres, barras, chapas, placas, etc.
- *Shot Peening*, protocolo que aumenta la resistencia a la fatiga de resortes, elásticos, engranajes, etc.
- Limpieza y preparación de superficies de piezas varias donde serán aplicados revestimientos posteriores (pintura, cauchos, etc.).

Este sistema de limpieza de superficie es el habitual para obtener un grado perfecto para un posterior pintado. Cuando se realiza la limpieza mediante chorro abrasivo, también se prepara la superficie con la rugosidad necesaria para poder realizar el pintado, por lo que, en este protocolo, se solapa dos conceptos, limpieza y rugosidad, que en este trabajo vamos a desglosar en dos apartados distintos.

En este apartado se hace referencia la norma ISO 8504-2, que detalla perfectamente los abrasivos, equipos y procesos que se deben realizar para llegar a los grados de limpieza requeridos por la norma ISO 8501-1.

Mediante el chorreado los grados finales quedan especificados de la forma:

- **Grado Sa1:** Limpieza por chorreado abrasivo: eliminar la calamina suelta y otras impurezas.

- **Grado Sa 2:** Limpieza por chorreado abrasivo comercial: remueve casi toda la cascarilla de laminación y las impurezas. Al menos el 65% de la superficie debe estar libre de residuos en el fondo de las cavidades.

- **Grado Sa 2½:** Limpieza por chorreado abrasivo a metal casi blanco: elimina la cascarilla de laminación y las impurezas, de manera que, sus huellas aparecen sólo como manchas de luz en las superficies.

- **Grado Sa 3:** Limpieza por chorreado abrasivo a metal blanco: remueve toda la cascarilla de laminación y las impurezas; la superficie está completamente libre de residuos y presente una coloración uniforme.

En el caso del acero al carbono, el grado de acabado dependerá del estado inicial de la superficie a preparar. En el Anexo 3 se puede ver los patrones fotográficos de los distintos grados de acabado respecto del estado de inicio (22).

La norma ISO 8504-2, especifica equipos y procesos, pero, en este caso, es más consultiva que efectiva, ya que el protocolo, normalmente, va a ser elegido por la empresa ejecutora del trabajo, basándose en su experiencia, en el resultado esperado y en los medios disponibles para la ejecución.

A la hora de la selección del abrasivo para obtener la limpieza y la rugosidad necesaria se debe realizar pruebas con los distintos tipos, y teniendo en cuenta el desgaste que sufre con el uso el abrasivo (23).

La norma ISO 8504-2 explica los métodos más usados; no obstante, actualmente, hay equipos desarrollados por distintas empresas que pueden ser perfectamente usados. Simplemente se hará una referencia a los procesos:

- Limpieza por chorreo seco, que puede realizarse por: granallado por turbina centrífuga, chorreado por aire comprimido y chorreado con extracción localizada

- Chorreado con abrasivo húmedo que puede realizarse por: limpieza por chorro abrasivo por inyección de humedad (limpieza con chorro abrasivo por inyección de humedad en aire comprimido), limpieza por chorro abrasivo con aire comprimido, limpieza con chorro de emulsión agua-abrasivo y limpieza por chorro de líquido a presión

4.4.4. Preparación de bordes y soldaduras

Este apartado se refiere a la norma ISO 8501-3: define el grado de acabado que se debe dejar los trabajos de calderería y soldadura durante el proceso de fabricación de los equipos.

La norma se divide en tres bloques: terminación de soldadura, terminación de trabajos de calderería y calidad de suministro de materiales

También se divide en tres calidades de acabado: P1: Terminación ligera, P2: Terminación minuciosa y P3: Terminación muy minuciosa.

El Anexo 4 detalla mediante dibujos las distintas terminaciones para soldaduras, preparación de bordes y suministro (24).

En el caso de nuestra sala de máquinas, la preparación de bordes va a ser en general P3, por lo que las calidades de los trabajos deberán ser ejecutados por operarios de alta cualificación.

4.4.5. Rugosidad

Para que el recubrimiento pueda quedarse adherido a la superficie metálica, hace falta que ésta tenga una rugosidad superficial adecuada. Se obtiene durante el proceso de limpieza de superficie, o durante el decapado, dependiendo del material implicado y puede variar dependiendo del material como se puede ver en la Tabla 4.6.(25).

El marco normativo sólo hace referencia al concepto de rugosidad (Norma ISO 4287), y al método de medición de la rugosidad de las superficies preparadas, según las normas de la serie ISO 8503, mediante patrones. En este punto es importante resaltar que estos patrones dan una medida no registrable, ya que se basa en el tacto; este hecho dificulta la elaboración del informe final, ya que, aunque se puede dejar un registro fotográfico de la superficie como en la Figura 4.9., no se puede dejar registro cuantificado. Así es recomendable usar un registro como puede ser los que se enumeran en la norma ASTM D4417 (mediante una cinta replica (26) o el uso de un perfilómetro).

Tabla 4.6.

Relación entre tipo de abrasivo y rugosidad obtenida.

Abrasivo	Máx. Tamaño Partícula	Máx. Altura de perfil (mils)
Arena muy fina	A través de malla 80*	1.5
Arena fina	A través de malla 40	2.8
Arena media	A través de malla 18	3.4
Arena gruesa	A través de malla 12	3.8
Steel grit No. G-80**	A través de malla 40	1.8
Iron grit No. G-50***	A través de malla 30	2.2
Iron grit No. G-40	A través de malla 20	3.4
Iron grit No. G-25	A través de malla 16	4.6
Iron grit No. G-16	A través de malla 12	6.5
Steel shot No. S-170**	A través de malla 20	2.8
Iron shot No. S-230	A través de malla 18	3.0
Iron shot No. S-330	A través de malla 16	3.5
Iron shot No. S-390	A través de malla 14	3.8

Fuente: www.sika.com (25)

Las normas no dan una cuantificación real de cuánto debe ser la rugosidad necesaria para cada superficie o tipo de pintura. En este caso, se suele utilizar los datos del propio fabricante que aconseja la rugosidad adecuada, para que la imprimación pueda pasar cualquier prueba de adhesión.

A mayor grado de rugosidad, la cantidad de pintura necesaria es mayor, remarcando que puede haber puntos donde, la capa sea más gruesa de lo necesario. También, cuando mayor sea el espesor de la capa, más consumo de pintura habrá.

A la hora de realizar la medición de la película seca, es importante saber la rugosidad inicial, o dejar una muestra para realizar el cero de la medición, según recomienda la ISO 19840.

En la Figura 4.9. se puede ver el resultado de limpieza y rugosidad de un perfil justo tras su chorreado.

Figura 4.9.: Perfil con acabado Sa 2 ½ y rugosidad Grueso.

Fuente: Elaboración propia

4.4.6. Limpieza antes de aplicación

Antes de realizar la aplicación de pintura debemos de estar seguros de que la superficie está completamente libre de polvo, sales y demás productos intrínsecos de los procesos anteriores y por ello, se debe limpiar antes de producirse el pintado.

El polvo y las sales presentes en la superficie serán definidos en la especificación o por el fabricante de la pintura en caso de falta de datos. A

modo de ejemplo, la norma IMO-PSPC que es de aplicación obligatoria en el caso de tanques de lastre y combustible define la cantidad de polvo como 1, y el tamaño de las partículas como 3,4 y 5, según la norma ISO 8502-3. Por ello en estos casos se deberá dejar constancia mediante una prueba de tira adhesiva.

La misma norma recomienda que las sales solubles tengan contenidos inferiores a 50 mg/m^2 de cloruro sódico, por lo que se deberá también analizarse según la norma ISO 8502-6.

4.5. SELECCIÓN DE PINTURAS

En este apartado se va exponer cómo seleccionar los distintos protocolos de pinturas dependiendo del tipo de superficie y de las condiciones a las que esté sometido. Realmente es este punto donde la normativa internacional es más escueta, dejando una gran amplitud de trabajo a los propios fabricantes de pinturas; pero es justo en este punto donde este estudio va intentar cumplimentar las normativas ISO con las normativas de otras entidades para obtener una especificación bajo un punto de vista normativo.

4.5.1. Premisas iniciales

Las distintas variables de estudio para los protocolos de pinturas van a ser: materiales, temperaturas de servicio y condiciones ambientales /productos en contacto,

En la Tabla 10.4. del Anexo 2 se dispone de todos los datos de los materiales de la sala de máquinas.

Los rangos de temperatura van a ser los que marca la norma ISO 12944-2, donde marca rangos de hasta 60º, 150º y 400ºC.

Por otro lado, tenemos ciertos elementos como el material del interior del

tanque que va a estar en contacto con productos como agua o hidrocarburos, pero en este caso va a ser siempre acero al carbono.

Considerando los datos de la Tabla 10.4. del Anexo 2 se ha llegado a una tabla resumen donde se agrupan los distintos materiales, con las temperaturas de trabajo y los productos o ambientes en contacto con el recubrimiento. El número asignado es el procedimiento de pintura que se desarrollará y detallará posteriormente. (Tabla 4.7).

Donde disponemos de cuatro materiales, de los que el acero al carbono se ha dividido a su vez en distinto grupos dependiendo de la temperatura de trabajo del fluido y de las características químicas que estén en contacto.

Tabla 4.7.

Enumeración de distintos procedimientos según materiales, temperatura de trabajo y producto en contacto.

	<60º	<150º	<400º
ACERO AL CARBONO	1	2	3
ACERO AL CARBONO CONTACTO AGUA POTABLE	4	X	X
ACERO AL CARBONO CONTACTO AGUA	5	X	X
ACERO AL CARBONO CONTACTO COMBUSTIBLE	6	7	X
ACERO GALVANIZADO CALIENTE	8	X	X
ACERO INOXIDABLE	9	X	X
CUNI 90-10	10	X	X

Fuente: Elaboración propia

Aquí se marca una de las principales aportaciones de este Trabajo Fin de Grado, ¿Qué se obtiene con esta tabla?: La respuesta es un resumen de materiales y procedimientos de pintado, de tal manera que, en caso de extrapolar a otras salas de máquinas, donde se disponga de más equipos, se tenga una tabla de referencia para poder pintar. Por ejemplo, si en un futuro se amplía disponiendo de un equipo hidráulico dentro de la misma, simplemente con definir el material y que éste esté incluido dentro de la lista,

se sabría qué procedimiento de pintura se debe usar.

Las celdas sombreadas en azul son los procedimientos que se obtienen directamente de la norma ISO 12944-5, para un ambiente corrosivo C-5M.

La norma ISO 12944-5 define procedimientos para acero al carbono sumergidos en agua salada y salobre, pero no para agua potable. Como estos tanques son para uso humano, se debe utilizar recubrimientos adecuados a este efecto y que la propia norma no recoge.

En el caso del acero inoxidable y el Cu-Ni 90-10, la norma ISO 12944 no tiene procedimientos aplicables. En este caso se usarán recomendaciones de fabricantes del material, así como de marcas de pintura. Como hemos dicho anteriormente, estos materiales no son necesarios pintar, pero como queremos ser lo más amplios posibles en cuestión de pinturas, los incluiremos.

4.5.2. Procedimientos

En este apartado enumeramos los procedimientos de pintura, que serán evaluados en laboratorio y pasar las pruebas según norma ISO 12944-6.

Cada procedimiento detallado se expone en el Anexo 5 del presente trabajo, con los requisitos exigidos para su aceptabilidad. Un ejemplo lo podemos ver en la Tabla 4.8.

4.5.2.1. Criterios comunes en los procedimientos

Todos los procedimientos son distintos, pero si van a existir criterios en común, no para todos los procedimientos, pero si para una gran parte. Los criterios que vamos a aplicar a todos los procedimientos en común van a ser:

- Preparación de bordes P3 según ISO 8503-1
- Preparación de superficie Sa 2 ½ según ISO 8504

- Imprimación de taller de silicato de zinc o epoxi en caso de incompatibilidad del primero con la imprimación.

- Imprimación etil silicato de zinc, en caso de incompatibilidad, imprimación epoxi.

- Terminación en zonas visible mediante poliuretano alifático, ya que tiene una mejor terminación visual.

Estos criterios son los exigidos por la norma ISO 12944-5, donde para ambientes corrosivos C-5M impone como criterios mínimos los anteriormente mencionados para: preparación de superficies e imprimación de taller. La imprimación de taller debe ser controlada como si fuera una capa más del procedimiento (27). Serán los criterios estándar de las aplicaciones excepto que se enuncie lo contrario para caso específicos.

En procedimientos multicapas, cada capa será de un color distinto, para facilitar la interpretación de las pruebas de adhesión.

Sobre marcas de pintura, igual que hay una" lista de suministradores" para los distintos equipos, se puede exigir una serie de marcas de pinturas para asegurar una calidad mínima.

4.5.2.2. Procedimiento 1

Es el que aplica al acero al carbono y acero fundido a temperatura de servicio ambiente y sin contacto con ningún producto, excepto el aire. Bajo esta premisa si se aplica la norma ISO 12944-5, el procedimiento sería el A5M.05, (ver Tabla Anexo 6 norma ISO 12944-5).

La preparación de superficies ha sido comentada en criterios comunes.

Para acero al carbono y fundición, se va a seleccionar una imprimación ESI (etil silicato de Zinc), debido a su gran calidad de protección contra la corrosión, y, sobre todo, porque resiste hasta 400ºC de temperatura

haciéndole perfectamente válido para otros procedimientos de acero al carbono, en donde la variable temperatura es crítica (28). Este tipo de imprimaciones exige una *tie-coat*, que será una pintura epoxi que permitirá la adhesión de las siguientes capas.

Las capas intermedias serán base epoxi, si es posible con alto contenido sólidos.

La terminación será una pintura de poliuretano alifática. La selección de este tipo de recubrimiento se basa en que este procedimiento de pintura, su objetivo es recubrir las zonas más visibles de la sala de máquinas, y esta pintura es la que dispone de mejor retención de brillo y color, y perdurará más en el tiempo la calidad visual de ésta (29).

El número de capas totales será de 4 capas con un espesor de 240 micras con una imprimación de 60 micras.

Para suelos, sería recomendable adicionar un producto antideslizante, compatible con la última capa.

4.5.2.3. Procedimiento 2-3

A la hora de definir materiales y procedimientos de pintura se realiza una separación en distintos grados de temperatura. También cuando hablamos de temperaturas, debemos hacer distinción entre una temperatura debido a radiación, por ejemplo, la temperatura que podemos tener en las paredes del guardacalor, en contraposición a la temperatura de trabajo de tubería.

Las pinturas actúan de distinta manera ante ambas situaciones.

Según la norma ISO 12944-5 Anexo C, los distintos tipos de pintura disponen de distinta resistencia a las temperaturas, pero la única pintura que es

Tabla 4.8.

Tabla especificación procedimiento 1.

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-01 PROCEDIMIENTO 1
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A5M.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Silicato de zinc
TIPO CAPA 1	Etil silicato de zinc
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	60
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos (tie coat)
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	60
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	60
TIPO CAPA 4	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	60
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	240
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	192 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	324
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	20 MPa

Fuente: Elaboración propia

resistente a todos los intervalos es el etil silicato de zinc.

Según la norma ISO 12944-5 Anexo C, los distintos tipos de pintura disponen de distinta resistencia a las temperaturas, pero la única pintura que es resistente a todos los intervalos es el etil silicato de zinc.

Además, las zonas que están a temperaturas que pueden producir daños a las personas por contacto, deben de estar protegidas mediante una barrera física como el calorifugado que, además, también ejerce de protección contra los ambientes corrosivos.

Por lo tanto, los procedimientos 2 y 3 se pueden reducir perfectamente a uno, utilizando el etil silicato de zinc, como única pintura. Estos procedimientos no van a ser multicapas, ya que se dispondrá de calorifugado

La preparación de superficie será según los criterios comunes.

Aunque la norma ISO 12944-5 no lo recoja, en caso de querer una mayor resistencia de la pintura, o por ejemplo en zonas donde el calor ambiente puede superar perfectamente los 70ºC, o piezas sometidas a más de 400ºC (por ejemplo, el colector de escape), es habitual pintar la siguiente capa de silicona de alta temperatura. Estas pinturas aumentan la resistencia del etil silicato por encima de los 400ºC y además en zonas sin calorifugado dan mayor protección contra agentes ambientales (30)

El espesor total sería de 80 micras.

4.5.2.4. Procedimiento 4

Para acero al carbono en contacto con agua potable la pintura deberá ser apta para uso humano: en este caso la norma a cumplir esta impuesta por las autoridades locales. No hay normativa al respecto más que las de los países de construcción. Países como Noruega con la Norsok, EEUU con la FDA, dictan distintas normas que deben cumplir los recubrimientos para poder ser

usados con productos alimentarios (31). Por lo tanto, si las autoridades locales, no dictan nada al respecto, lo correcto sería consultar con los fabricantes de pinturas cual sería el recubrimiento más idóneo. Pero es importante la selección de las pinturas, ya que están puede introducir contaminantes al agua potable(32)

4.5.2.5. Procedimiento 5

El procedimiento de pintura está recogido por la norma ISO 12944-5, la Tabla A.06. El procedimiento de pintura que se ha escogido es el A.6.05, detallado en la Tabla 2 del Anexo 6 de la norma.

Las capas de imprimación epoxi con distintos sólidos anticorrosivos, con un espesor de 80 micras. La capa de terminación es una capa epoxi hasta obtener un espesor de 330 micras NDFT.

4.5.2.6. Procedimiento 6

Los tanques destinados al transporte de combustibles, aceites, lodos, etc., tienen riesgo de corrosión, aunque los fueles y aceite no lo son por ellos mismos, muchos de las contaminaciones que tienen, como agua, sales, etc., generan corrosión (33).

En la actualidad, no existe tampoco normativas específica, pero sí hay normativas perfectamente adaptables a este tipo de depósitos: la norma IMO (MSC 288.87) (34) y la norma de la *American Petroleum Association* (API 652).

Estas dos normas hacen hincapié en la posibilidad de corrosión en los depósitos principalmente, en los fondos y en los techos. Básicamente esos problemas son extrapolables perfectamente a nuestro estudio.

La corrosión se produce en el fondo, básicamente, debido a la sedimentación de agua y lodos. (35) Debido a la densidad de los hidrocarburos se produce

una separación del agua, acumulándose en el fondo. (36) Este tipo de problemas se produce fundamentalmente en los tanques de FO de almacén y sedimentación. En los tanques de uso diario, no debería suceder debido a que el combustible ya ha pasado por las depuradoras; puede haber existencia de agua debido a fugas de vapor. En los tanques de lodos, habitualmente hay gran cantidad de agua en los fondos.

En los techos de los tanques también se produce corrosión, debido a que todos estos tanques son atmosféricos, y es inherente que se produzca condensaciones en esas zonas debido a las diferencias de temperatura entre el combustible y el ambiente.

Por lo tanto, vamos a aplicar el mismo criterio para todos los tanques; aunque las normas hablan de fondos y techos, hemos de resaltar que, en el caso de estos tanques, el tamaño de los depósitos es pequeño y, por lo tanto, la mejor opción es pintar todo el tanque con el mismo recubrimiento. Las normas API 652 e IMO recomiendan aplicar una pintura epoxi.

En el caso de la API 652, da como otra opción aplicar epoxi con refuerzo de fibra de vidrio. Este tipo de recubrimientos se aplica a zonas en donde se necesita resistencia a la abrasión, que no es el caso que procede.

Siguiendo la norma de la IMO, la recomendación es utilizar una imprimación de taller compatible tanto con el sistema de pintado como con los productos usados.

Por otro lado, la preparación de la superficie es bastante clara: se haría una preparación de superficie Sa 2 ½ y rugosidad media entre 30-75 micras, antes de dar la imprimación de taller.

La preparación en tras la soldadura sería un Sa 2, sobre el shop primer en buen estado y de Sa 2 ½ en mal estado. La preparación de bordes sería según la IMO de P2, pero, en este caso, se aplicaría el criterio de la ISO 12944: P3.

En campo donde sea posible en las zonas dañadas se haría Sa 2 ½ y en caso de ser imposible se aplicaría St 3.

Se aplicaría una imprimación epoxi con mezcla de distintos sólidos anticorrosivos de 80 micras. Las siguientes capas serían de pintura epoxi. Según la API, la pintura más adecuada por amplio rango sería del tipo epoxi amina. El espesor mínimo es de NDFT 320 micras en multicapas. Extrapolando esta especificación y buscando similitudes con la norma ISO 12944-5, este procedimiento es igual al procedimiento A6.05, simplemente escogiendo un recubrimiento epoxi resistente a combustibles, aceites, etc.

Sentinas y bandejas

En el caso de sentinas y bandejas, además, de experimentar los problemas de corrosión de los tanques, van a estar en contacto con distintos productos de los derrames que se producen en la sala de máquinas. Pero, además, de ser resistente a estos productos, debe ser fácilmente limpiable (están en zonas vistas) y las sentinas son susceptibles de ser bombeadas al mar después de pasar por los separadores, por lo que es necesario que cumpla todos los requisitos ambientales. Para este recubrimiento, se va aplicar el mismo procedimiento que los tanques de combustible, pero con productos desarrollados específicamente por los fabricantes de pintura y acorde a la normativa de la sociedad clasificadora, debido a los problemas de contaminación ambiental.

4.5.2.7. Procedimiento 7

En este caso el procedimiento a aplicar sería igual que el de combustibles a temperaturas inferiores de 150ºC, simplemente cambiando las capas de epoxi por epoxi resistentes a temperaturas mayores de 60ºC y menores 150ºC.

4.5.2.8. Procedimiento 8

Los equipos de acero galvanizado, suelen ser complejos para la aplicación

óptima de recubrimiento recubrir, debido básicamente a los problemas por falta de adhesión del galvanizado. (37)

La norma ISO12944-4 detalla el cómo preparar las superficies del acero galvanizado, mediante decapado, para obtener una superficie limpia y lo suficientemente rugosa para permitir la adhesión del recubrimiento. Se dan simples referencias, siendo los propios aplicadores de galvanizado los que han desarrollado las mejores técnicas(38)

La norma ISO 12944-5, en la Tabla A-7, recoge el procedimiento A7.12 el procedimiento de pintura que, en este caso sería, imprimación epoxi de 80 micras y dos capas de poliuretano alifático, dando un espesor total de 240 micras.

4.5.2.9. Procedimiento 9

Aplicar un recubrimiento al acero inoxidable, en muchos casos puede ser debido a motivos estéticos o motivos ligados con la normativa, por ejemplo, en equipos que por norma deben disponer de un color, por ejemplo, tuberías de contraincendios, protecciones, etc.

No hay ninguna norma que aplique al pintado del acero inoxidable, la única bibliografía adecuada es la que ha generado la asociación de fabricantes europeos de acero inoxidable Euro-Inox (39), que está compuesto por las mayores compañías fabricantes de aceros inoxidables.

El mayor problema a la hora de pintar el acero inoxidable es crear un sustrato adecuado para que la pintura agarre. Para ello la fase más importante es la preparación superficial.

Los equipos de acero inoxidable se deben construir en taller, reduciendo al mínimo los trabajos de conformado y soldadura en campo, debido básicamente, que las soldaduras del acero inoxidable se deben tratar para eliminar las coloraciones en las zonas afectadas por la temperatura, mediante

la decapación. Esta se suele realizar con ácidos, por lo que es mejor, dejar solo a campo las decapaciones debido a soldadura de montaje in situ,

La superficie debe estar lo suficientemente rugosa como para permitir una buena adherencia, y el acero inoxidable tiene el requisito adicional que, debido a la capa pasiva, se impide la adherencia, por lo que ésta debe ser eliminada poco antes del pintado y pintar antes que esta se vuelva a formar (19). Las superficies de acero inoxidable son duras y lisas, especialmente cuando están laminadas en frío o tienen un acabado liso especial.

El chorreado por abrasión es el método más idóneo para obtener la rugosidad necesaria, pero tiene el inconveniente, que muchas veces el acero inoxidable es de espesor muy pequeño y se produce deformaciones. El mejor sistema para esos casos es el decapado acido. La preparación de bordes será P3.

El procedimiento de pintura adecuado sería imprimación epoxi con terminaciones en PUR alifático, siguiendo el mismo procedimiento que el acero galvanizado.

4.5.2.10. Procedimiento 10

El caso de la aleación de cobre CuNi 90-10 es un caso similar al del acero inoxidable. No se dispone normas ni bibliografía extensa al respecto. El hecho de pintar la tubería de CuNi 90-10 es por motivos estéticos o normativos más que el hecho de necesidades anticorrosivas. Los pocos datos existentes es de los fabricantes de material.(40)

No se usarán imprimaciones de ningún tipo, y se realizará un chorreado muy ligero, para obtener una superficie limpia y con la rugosidad deseada. La preparación de bordes será P3.

Al no disponer de bibliografía consistente, sobre la rugosidad necesaria, se puede optar por dos vías. Una es solicitar información al fabricante de pintura o, en su defecto, realizar unos paneles de prueba con distinta rugosidad y

realizar pruebas de tracción a la pintura.

La pintura que usaremos será poliuretano alifático al igual que las capas de terminación de los aceros.

5. APLICACIÓN

5.1. INTRODUCCIÓN

La aplicación del recubrimiento es el proceso donde sobre la superficie ya preparada se va a aplicar las pinturas. Esta fase se puede ver resumida en la Figura 5.1.

En este punto, aunque hay referencias en la ISO 12944-7 de los procedimientos de cómo aplicar la pintura; es verdad, que el proceso va a depender mucho del conocimiento y experiencia de la empresa aplicadora y del aplicador.

La capacitación de los aplicadores es fundamental para obtener un trabajo con garantías. Ni la norma ISO 12944-7 ni la ASTM especifica nada al respecto de la formación de los aplicadores. La única agencia que reconoce una homologación es la SSPC, mediante CAS (*Coating Application Specialist*), que otorga, mediante la realización de un curso y la aprobación de un examen, una titulación, que tiene reconocimiento internacional. Algunas normas nacionales tipo NORSFOK, solicita que los aplicadores tengan homologación *tradesman*, pero no es la práctica habitual.

Aunque los aplicadores no tengan una formación reglada, de hecho, en España no hay ninguna formación reglada y oficial para este tipo de profesión, los protocolos de inspección que se realizan durante la ejecución y las inspecciones posteriores, ya avalarían la correcta praxis del trabajo, y la correcta capacitación de los profesionales.

Las instrucciones de aplicación son fundamentales antes de aplicar la pintura. El aplicador debe haberlas leído y entendido, y cumplirlas. Solo el fabricante sabe perfectamente cómo se comporta su pintura.

Los equipos a utilizar van a depender de factores como zona de aplicación, tipo de pintura, áreas a pintar, etc.

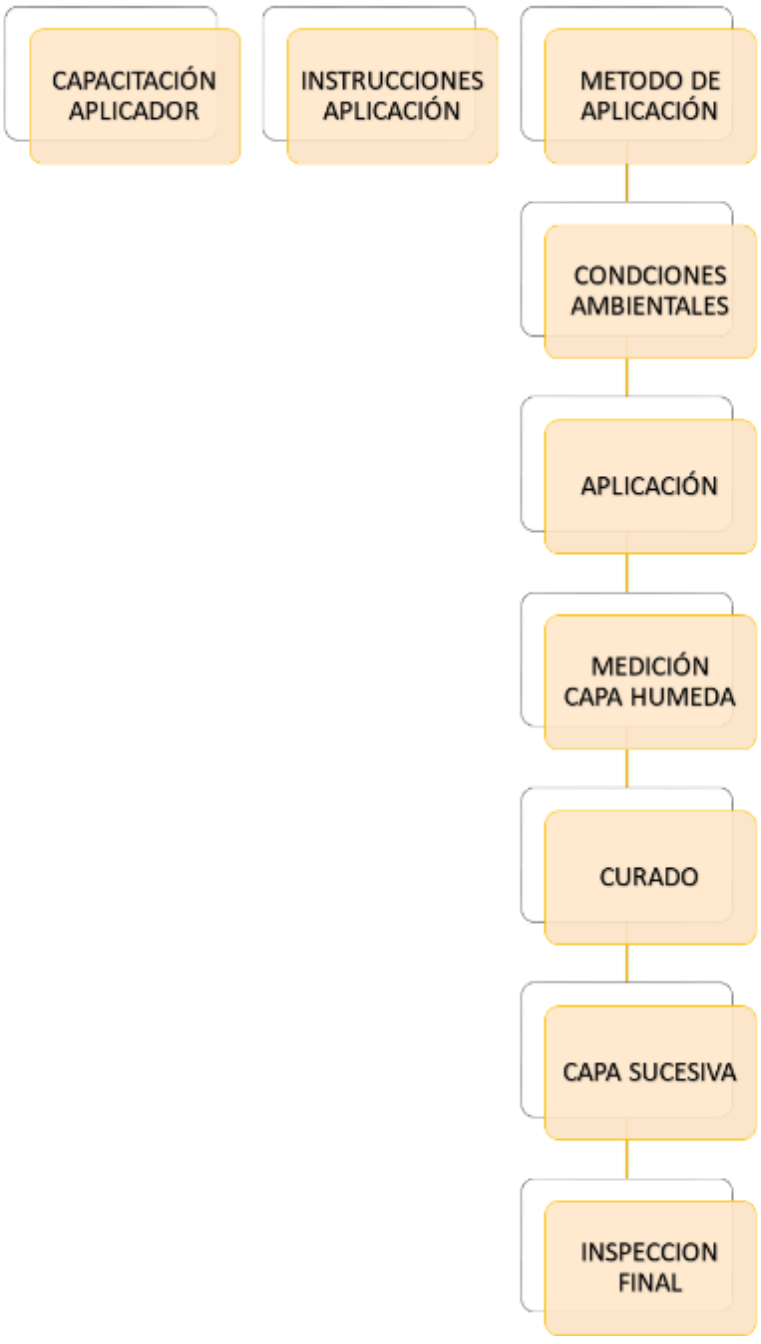


Figura 5.1.: Flujograma de aplicación.

Fuente: Elaboración propia

Según la norma ISO 12944-7 los métodos más comunes de aplicación son:

Brocha: Es el método más lento y, por tanto, el más costoso. En un principio se pensó que era el método más efectivo para la primera mano, dado que el pintor podía llegar a todos los rincones de la superficie. Dada la irregularidad que deja una aplicación con brocha, este método no es el más óptimo. Es el método utilizado para detalles, esquinas, tornillos y áreas de difícil acceso.

Rodillo: Es un método adecuado para recubrir grandes áreas, de preferencia planas, en donde la aplicación por otros métodos más eficientes como la aspersión, no es factible. La longitud y tipo del mango de un rodillo, puede afectar considerablemente la rapidez de la aplicación, así como reducir el andamiaje y aumentar la producción que con brocha no es posible. Sin embargo, su uso está limitado a superficies planas.

Aspersión con aire: Es el método más utilizado por su versatilidad en la aplicación de un gran número de recubrimientos. Aunque no es tan eficiente como el método de aspersión sin aire, con una adecuada combinación de presiones y boquillas, pueden ser aplicados productos de alto peso específico y de diferentes viscosidades. La pérdida de material por aspersión con aire es de 25 a 35%.

Aspersión sin aire: Este método utiliza una bomba de alta presión accionada hidráulicamente o por aire, para impulsar la pintura sin aire a través de un orificio a muy alta presión. Se utiliza menos adelgazador, proporciona películas más gruesas por aplicación que cualquiera de los métodos anteriores, logra mayor cubrimiento y mejor aplicación en los rincones donde no es fácil llegar con otros métodos. El gasto de pintura se controla con el tamaño del orificio de la boquilla y por la capacidad de la bomba impulsora. Las ventajas de la aspersión sin aire en relación a la con aire son las siguientes: aplicación más rápida, menos pérdida del material (5 a 15%), eliminación de contaminación por humedad del aire, menor volumen de aire requerido, mayores espesores con menos manos y mejor productividad en

general.(41)

Al igual que se habló en el caso de los métodos de chorreo por abrasión, en el mercado hay un sinfín de equipos, que, aunque no son recogidos por la norma son perfectamente utilizables. La empresa aplicadora, es sin duda alguna, la que debe elegir el equipo óptimo para obtener el resultado requerido por el procedimiento de pintura.

5.2. CONDICIONES AMBIENTALES DE APLICACIÓN

En la aplicación de pinturas se debe controlar cuidadosamente las condiciones ambientales y la exposición a éstas durante la aplicación. (42)

El viento, lluvia, nieve y el sol directo son bastante nocivos durante la aplicación y, por lo tanto, hay que evitarlos cuando se realice el pintado, mediante protecciones o, directamente, mediante la suspensión del proceso. En este punto se ha de recordar, que desde el principio se ha hablado de la fabricación por módulos, apostando por la aplicación de los recubrimientos en el taller de fabricación en vez de la grada, por lo que las condiciones medioambientales se deberían tener más controlados.

La temperatura ambiente es fundamental para los tiempos de curado. Normalmente la TDS (*Technical Data Sheet*- hoja de datos técnicos) explica claramente la temperatura de curado. Este parámetro es fundamental ya que, después de pintar esa capa, se debe realizar otro proceso de fabricación, como pintar la siguiente capa o montajes mecánicos.

La mejor opción es respetar las indicaciones de la TDS; a modo de ejemplo a temperaturas inferiores de 10ºC las pinturas epoxi no son aplicables y por encima de 30º, cualquier pintura seca excesivamente rápido y puede producir una mala adherencia y una película no uniforme (43). Estos valores deben aplicarse también a la temperatura de la pintura y de la superficie a pintar, ya

que influyen directamente.

Otros parámetros fundamentales son la humedad y la temperatura de rocío, para una buena terminación y sí están regulados normativamente, mediante la norma ISO 8502-4. Esta norma establece los parámetros a controlar y los instrumentos a usar.

La probabilidad que se produzca condensación en la superficie a pintar en el momento de pintar, o en el tiempo de secado, influye negativamente en la calidad final del trabajo. Por eso la temperatura de la superficie a pintar debe ser 3ºC sobre la temperatura de rocío.

La norma específica que los parámetros a controlar y los equipos a usar son:

- Temperatura ambiente y usar un termómetro de exactitud +/- 0,5ºC
- Humedad relativa y usar higrómetros con exactitud +/-3% RH
- Temperatura superficial y usar termómetro de exactitud +/- 0,5ºC, haciendo un muestreo mínimo cada 10 m^2

Con los equipos anteriormente citados se puede calcular cual es la temperatura de rocío mediante Formula 5.1.

$$Td = 234.175 * \frac{(234.175+T)(ln0.01+lnH)+17.08085T)}{234.175*17.08085-(234.175+T)(ln0.01+lnH)} \qquad (5.1.)$$

Siendo:

Td = Temperatura Rocío

T = Temperatura ambiente

H = Humedad relativa

Dando como parámetros orientativos recogidos en la Tabla 5.1.

La norma ISO 8502-4 recomienda que la humedad relativa en el ambiente

durante las etapas de pintado y secado no supere el 85% para evitar problemas.

Tabla 5.1.

Relación humedad relativa.

Humedad Relativa	98	95	92	90	85	80
Diferencia temperatura	0.3	0.8	1.3	1.6	2.5	3.4

Fuente: Elaboración propia

5.3. MEDICIÓN DE LA CAPA HÚMEDA

Durante el proceso de aplicación, es muy importante que la empresa aplicadora controle el espesor de la capa del recubrimiento en estado húmedo. Hay una relación entre el espesor de la capa húmeda y la capa seca, de tal manera que el propio aplicador en el momento del trabajo conoce el resultado en espesor de la capa, pudiendo corregirlo durante el proceso.

Esa relación es dada en el TDS de las pinturas, por lo que es valor propio de pintura y siendo el porcentaje del volumen de sólidos quien define esta relación.

En sustratos no ferromagnéticos, como puede ser el Cu-Ni 90-10 o el acero inoxidable austenítico, la medición de la capa seca requiere de equipos más complejos, por lo que la medición de la capa húmeda es fundamental.

La norma ISO 2808, define los distintos equipos que se pueden usar para la

medición, habiendo un amplio abanico, y la decisión de un equipo u otro, será de la empresa aplicadora.

Los métodos se diferencian por el principio de medición, pudiendo ser: mecánicos, gravimétricos y foto térmicos

Por regla general se usan equipos como los recogidos en la Figura 5.2., que son peines que pueden ser llevados por el aplicador en el bolso, y su comprobación es fácil, rápida y económica.(44)

Figura 5.2.: Peine medidor de espesor húmedo.

Fuente: www.elcometer.com

6. INSPECCIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

La labor de inspección es crítica, ya que es la constatación mediante registros de calidad de la labor de pintura, e indica que se ha hecho según los procedimientos. Se debe planificar y llevarse a cabo mediante un elaborado Plan de Puntos de Inspección, identificado como PPI.

Este plan debe ser elaborado por el equipo de ingeniería, calidad y cliente, ya que el PPI incluye inspecciones que debe hacer el operario, otras deberán realizarlas el departamento de calidad y, por último, habrá algunas que deberá estar presente el cliente.

Este PPI se deberá consensuar entre armador y astillero, y se convierte en elemento contractual: de ahí la importancia de su correcta elaboración y seguimiento por todas las partes. El PPI comienza en la recepción del material y termina en la entrega del buque.

Cuando se habla de inspección, se debe diferenciar entre las inspecciones o chequeos que deben realizar los operarios, y las comprobaciones que deben realizar el departamento de calidad o el punto de inspección por parte del cliente.

Los chequeos que debe realizar producción se llevan a cabo por los operarios o mandos intermedios, para poder asegurar que se está realizando el trabajo según el procedimiento. Es optativo llevar registro de estos chequeos, debido que, son simples comprobaciones del operario para confirmar que cumplen con los requisitos de trabajo. Un ejemplo es la medición de espesor de película húmeda expuesto en el punto 5.3..

En la Tabla 6.1. se puede ver un ejemplo de PPI.

Tabla 6.1.

Listado de inspecciones a realizar.

CODIGO	INSPECCION	NORMA	EQUIPO	RESPONSABLE	PRESENCIA CLIENTE	DEPARTAMENTO
1	GRADO INICIAL DE CORROSIÓN DEL ACERO	ISO 8501-1	PATRÓN FOTOGRÁFICO	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO ALMACÉN
2	PREPARACIÓN DE BORDES	ISO 8501-3		FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN - DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
3	SOLDADURAS			FABRICANTE		INSPECTOR DE SOLDADURAS ESPECIALISTA EN INSPECCIONES VISUALES
4	PREPARACIÓN DE SUPERFICIE TALLER	ISO 8504-2	PATRÓN FOTOGRÁFICO	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN - DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
5	RUGOSIDAD	ISO 8503	PATRÓN FOTOGRÁFICO	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN - DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
6	POLVO	ISO 8502-3	EQUIPO DE ADHESIÓN	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN - DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
7	CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	ISO 8502-4	EQUIPOS DE MEDICIÓN TEMPERATURA Y HUMEDAD	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN
8	ESPESOR DE PELICULA HUMEDA POR CAPA	ISO 2808	EQUIPOS SEGÚN NORMA	FABRICANTE		100% DEPARTAMENTO PRODUCCIÓN
9	ESPESOR DE PELICULA SECA POR CAPA	ISO 2808	VARIOS	FABRICANTE	SI	100% DEPARTAMENTO CALIDAD
10	INSPECCIÓN VISUAL	ISO 4628	PATRÓN FOTOGRÁFICO	FABRICANTE	SI	100% DEPARTAMENTO CALIDAD
11	COLOR	ISO 3668	PATRÓN FOTOGRÁFICO	FABRICANTE	SI	100% DEPARTAMENTO CALIDAD
12	BRILLO	ISO 2813	EQUIPOS SEGÚN NORMA	FABRICANTE	SI	100% DEPARTAMENTO CALIDAD
13	DETECCIÓN DE IMPERFECCIONES	ASTM D5162	EQUIPOS SEGÚN NORMA	FABRICANTE	SI	DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
14	ADHESIÓN	ISO 4624	EQUIPOS SEGÚN NORMA	FABRICANTE	SI	DEPARTAMENTO CALIDAD, PORCENTAJE SEGÚN ESPECIFICACIÓN
15	REGISTRO			FABRICANTE		

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6.1. se puede ver cuál es el flujograma para la realización de las

inspecciones se propone en este trabajo.

Figura 6.1.: Diagrama de pasos de la inspección de un protocolo pintura.

Fuente: Elaboración propia

6.2. RECEPCIÓN DEL MATERIAL

Cuando el material, tales como los perfiles, chapas, válvulas y demás equipamiento llega al taller se deberá evaluar su estado superficial.

Si el material llega con imprimación de taller, se comprobará que no hay fallos y que la imprimación es la adecuada. En caso de que el material llegara sin imprimación, se comprobará estado inicial de corrosión del material según la norma ISO 8501-1.

Según la norma ISO 8501-3, con una preparación P3 el material se debe suministrar cumpliendo unas condiciones de defectos como se ve en la Figura 10.1. del Anexo 4, por lo que se deberán comprobar la ausencia de éstos. En el informe se anotará el estado inicial de corrosión, y que se cumple las condiciones de suministro.

6.3. PREPARACIÓN DE SOLDADURA Y BORDES

Igual que en el punto anterior, al decidir que los equipos deben cumplir la norma ISO 8501-3 con una preparación P3, durante el proceso de corte y de soldadura los propios operarios deberán realizar comprobaciones continuamente evaluando que sus trabajos son correctos.

En el caso de las soldaduras, además, deberán pasar inspecciones propias, cómo será la visual al 100% y, en algunos casos, ensayos no destructivos que quedarán reflejado en un informe adecuado. Por lo tanto, este punto queda suficientemente asegurado, desde el punto de vista de calidad.

6.4. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

La preparación de superficie, como se ha reseñado anteriormente, es crítica

para obtener una calidad adecuada del recubrimiento. Por ello, tras realizar el chorreado, es fundamental que quede registro del grado de limpieza y de la rugosidad obtenida. Este registro lo debe realizar el departamento de calidad de la empresa ejecutora del trabajo: registro gráfico y plasmarse en el informe final. También el registro de polvo y sales en la superficie antes de la aplicación se debe reflejar en el informe final.

6.5. APLICACIÓN DE PINTURA

Durante la aplicación de la pintura es fundamental que el departamento de calidad de la empresa ejecutora realice una serie de comprobaciones para la obtención de una óptima ejecución del trabajo, Todo ello implica conocer y realizar: Evaluación de las condiciones ambientales, medición de película húmeda, comprobación de correcto curado entre capa y capa y medición de película seca de cada capa.

Todas estas mediciones se deben reflejar en el informe final.

6.6. PRUEBAS FINALES

El PPI que se muestra en la Tabla 6.1., refleja una serie de inspecciones que deben ser realizadas tras la aplicación del recubrimiento. Estas pruebas son las finales, y algunas de ellas deben ser realizadas en presencia del cliente o persona delegada.

6.6.1. Reunión inicial

Antes de iniciar cualquier proceso de pintura, se debería realizar una reunión de lanzamiento entre cliente, astillero y empresa ejecutora del trabajo, donde se definiera claramente cómo realizar la inspección. Aunque en las especificaciones se debe dejar todo cuantificado, lo mejor es definirlo

claramente, donde y como realizar la inspección. En esta fase es muy importante una comunicación amplia para evitar confusiones, delimitar responsabilidades e implicaciones contractuales, tales como: garantías, penalizaciones, etc.

6.6.2. Inspectores

La norma ISO no hace ninguna mención a la capacitación del inspector de pintura, pero otras normas como NACE, Froscio, etc., si habilitan perfiles para esta función.

La persona que va a realizar las inspecciones debe tener unas habilidades profesionales, de tal manera que, su informe sea válido como documento contractual, y lo deseado es que el inspector esté cualificado por algún organismo.

6.6.3. Inspección final

La norma ISO 12944-7 enumera las inspecciones que se deben realizar al trabajo de pintura, para saber si ha sido correctamente realizado. Aunque las enumera someramente, todas esas inspecciones se desarrollan después en otras normas ISO. Las inspecciones se pueden dividir en dos grupos:

- **Inspecciones visuales**: dependerá de la habilidad y conocimiento del inspector, para, mediante la vista y los patrones disponibles en la norma pueda comprobar el correcto estado del trabajo entre ellas, color, brillo, etc.

- **Mediante equipos de medición**: el inspector se apoyará en equipos de medida para poder comprobar la correcta ejecución del trabajo. En este caso, el inspector necesitará la habilidad de saber usar un equipo de medición, y tener la suficiente destreza de interpretar correctamente los datos.

Cuando se afronta la inspección final de un trabajo de pintura, es importante tener correctamente planificado las inspecciones, cómo hacerlas y cómo optimizar el tiempo para ello.(45)

Las inspecciones visuales se realizarán de inicio, ya que no dependen de la necesidad de equipos, y además en caso de resultados no correctos, siempre implican un repintado.

Tras la inspección visual, se realizará la medición de espesores, continuidad y como punto final la prueba de adhesión.

Si se supera todas las pruebas, se emitirá un informe final dando como válido el producto final.

6.6.3.1. Zonas de referencia

El primer paso es delimitar las zonas donde se va a realizar la inspección. Aunque lo ideal sería inspeccionar todo el conjunto pintado, en la práctica es largo y costoso el poder realizarlo, por lo que se opta por hacer el estudio en unas áreas delimitadas. La norma ISO 12944-7, en su Anexo A y mostrada en la Tabla 6.2., describe las zonas de inspección.

Estas zonas de referencia deben quedar registradas para que, de esta manera, en las sucesivas veces que se realicen las inspecciones de mantenimiento, se utilice siempre la misma área, y poder ver la evolución del procedimiento de pintura.

6.6.3.2. Inspecciones visuales

Una de las inspecciones más difíciles es la inspección visual en los trabajos de recubrimiento, debido a que, no es una prueba cuantificable mediante una máquina. Estas inspecciones dependen, en gran medida de la destreza, del inspector. Las imperfecciones deben ser inexistentes tras el recubrimiento, ya que denotaría fallos en el proceso de aplicación.

Tabla 6.2.

Zonas de referencia según la norma ISO 12944-7.

Size of structure (painted area) m^2	Recommended maximum number of reference areas	Recommended maximum percentage of reference area relative to total area of structure	Recommended maximum total area of reference areas m^2
up to 2 000	3	0,6	12
above 2 000 to 5 000	5	0,5	25
above 5 000 to 10 000	7	0,5	50
above 10 000 to 25 000	7	0,3	75
above 25 000 to 50 000	9	0,2	100
above 50 000	9	0,2	200

Fuente: Norma ISO 12944-7

La imperfección visual viene perfectamente definidas, incluido patrones fotográficos en todos los apéndices de la norma ISO 4628.

Otras de las inspecciones visuales, se emplean para determinar el color y el brillo, también, definidas por la norma ISO. Los defectos a estudiar son:

Ampollamiento o *Blistering*

El *blistering* o ampollamiento de la pintura, es una formación de burbujas diseminadas en la superficie de la pintura con un diámetro que varía de 3-4 mm a 20-30 mm. Estas ampollas o burbujas contienen en su interior líquido, vapor o gas.

Se produce por una pérdida localizada de adhesión entre la pintura y el substrato, con el levantamiento de la pintura produciéndose generalmente por

el efecto ósmosis y debido a una de las siguientes razones: retención de solventes, incorrecta aplicación de la pintura y contaminación de sales solubles en las capas precedentes de pintura, causado por la insuficiente limpieza de la superficie. En la figura 6.2. se puede ver un ejemplo claro de ampollamiento en un mamparo de buque.

Figura 6.2.: Detalle de ampollamiento o *blistering*.

Fuente: http://www.amteccorrosion.co.uk/coatingfailuresguide.html

La norma de aplicación es la ISO 4628-2 en donde sus patrones fotográficos marcan el grado y la densidad de ampollas en la superficie, que debe estar ausente de ampollas.

Oxidación

La oxidación en la pintura es la formación de herrumbre en el sustrato emergiendo en las capas de pintura. Por regla general se debe: humedad en la superficie de pintado, acumulación de sales solubles en las capas e incorrecta preparación de la superficie.

La norma de aplicación es la ISO 4628-3, donde se reflejan los patrones de aceptación, mostrados en la Figura 6.3. y la superficie debe estar ausente de herrumbre.

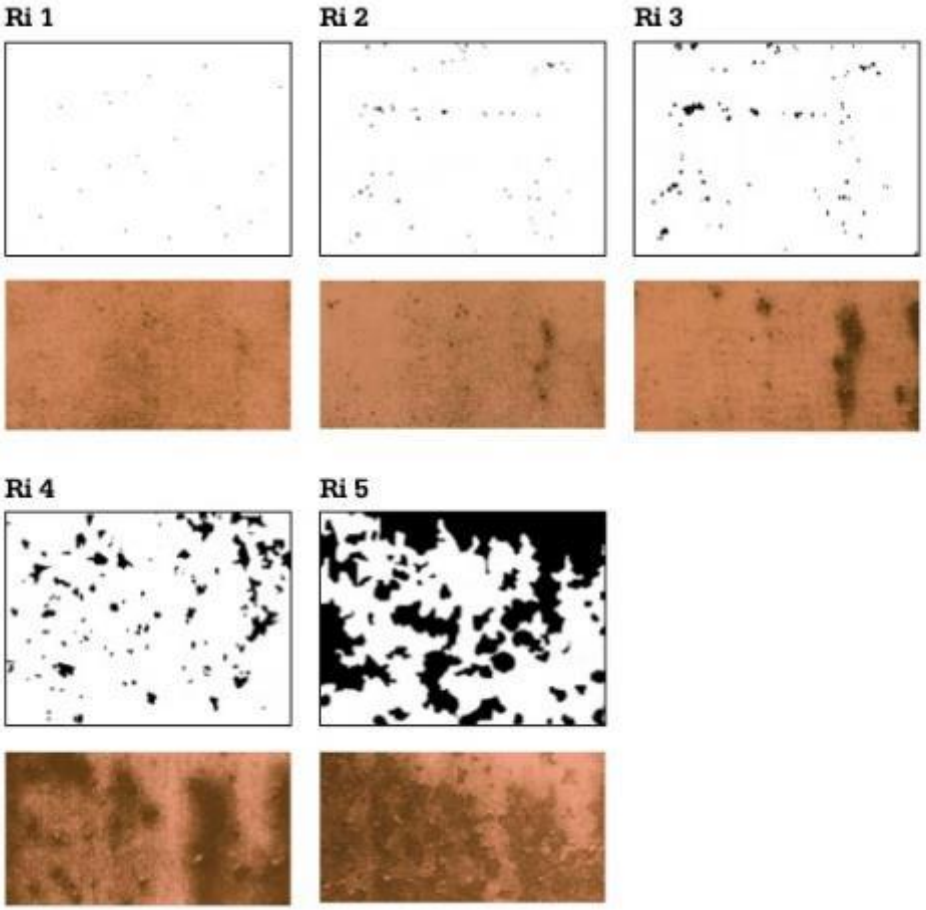


Figura 6.3.: Patrones de oxidación según la norma ISO 6248-3.

Fuente: ISO 4628-3

Agrietamiento o *cracking*

Es el daño que se manifiesta por una fisura de al menos una de las capas de la pintura, esperándose que se incremente el agrietamiento en todas ellas. Las fisuras pueden aparecer por: sobre espesor de pintura, deformaciones plásticas de las estructuras excediendo las propiedades de elongación de la capa de pintura y por los esfuerzos de fatiga localizada debido a un diseño

inapropiado. Un ejemplo de agrietamiento es el mostrado en la Figura 6.4.

La norma de aplicación es la ISO 4628-4, y enumera distintos tipos de agrietamientos, pero se exigirá que no haya roturas en la superficie, siempre y cuando estas no sean provocadas por fatiga o deformaciones.

Figura 6.4.: Agrietamiento de pintura en superficie.

Fuente: www. Corrosionpedia.com

Escamado o *Flaking*

El *flaking* o escamado es un fallo de la pintura que se observa como pequeños trozos de revestimiento se desprenden del sustrato metálico debido a una pérdida de adhesión (Figura 6.5.). Los motivos del escamado son: empleo de pinturas de mala calidad que poseen poca adherencia y flexibilidad, preparación inadecuada de la superficie, existencia de una capa fina de revestimiento de pintura y aplicación de pinturas alquídicas o de base aceite

sobre superficies galvanizadas.

Figura 6.5.: Escamado en superficie.

Fuente: www. Corrosionpedia.com

La norma de aplicación es la ISO 4628-5, enumera distintos grados de escamado, pero en una pintura nueva es inadmisible.

Enyesado o *Chalking*

El enyesado se relaciona con la existencia de una capa de polvo en la superficie de un revestimiento. Normalmente es causada por la exposición a la luz UV u otras formas de radiación, como la nuclear. Las principales causas del enyesado incluyen tanto el empleo de pintura de baja calidad así como la exposición prolongada a los efectos combinados de la humedad y los rayos ultravioletas del Sol (46, p. 57)

La norma de aplicación es la ISO 4628-6 y 7, y la ausencia de enyesado en la pintura debe ser absoluto

Color

La inspección de color, normalmente se realiza mediante la comparación de las muestras de distintos colores sobre la superficie como los mostrados en la Figura 6.6.. Es un método rápido y bastante económico que debe realizar constantemente los operarios que aplican el recubrimiento.

Figura 6.6.: Patrones de colores norma RAL.

Fuente: www.neurtek.com

Cuando se realiza una inspección de control de calidad, lo correcto sería aplicar la norma ISO 3668. Esta norma da las pautas de cómo realizar una inspección. El color es algo relativamente subjetivo y difícilmente cuantificable. La norma da unas pautas de la iluminación necesaria (2000 luxes), el inspector qué capacidades visuales debe tener, y sobre todo en el Anexo B explica como cuantificar las diferencias de color. Esto es importante como criterio de aceptación. La aceptación en aplicaciones nuevas debería ser 0 o

1, como la define: colores iguales o muy ligeras diferencias.

La norma está muy orientada a trabajo de laboratorio o de control de calidad en fábrica, más que control en campo, aunque da una manera de cuantificar las diferencia; en caso de ser importantes, podría dar margen a un análisis en profundidad en laboratorio y sobre todo cuando hay de rechazos de equipos.

Brillo

El brillo de un recubrimiento será definido en fase proyecto. La norma de aplicación es la norma ISO 2813, y se medirá con un equipo adecuado y calibrado regularmente (47).

En el mercado hay bastantes modelos para su utilización. Al igual que el color, no es un elemento tan crítico como otros parámetros, y de hecho no suele ser medido, excepto, que haya una gran diferencia de brillo entre los distintos equipos.

6.6.3.3. Detección de discontinuidades o *holyday detection*

Un recubrimiento es una película continua, que no debe tener ninguna discontinuidad, agujeros, grietas, contaminantes, etc. Muchas de estos fallos no son detectables en la inspección visual, por lo que el apoyo de una inspección mediante un equipo cuantificable es muy positivo y necesario.

La detección de discontinuidades se suele realizar fundamentalmente en equipos críticos como tanques, zonas de difícil acceso, etc.

El principio de funcionamiento del equipo está basado en la aplicación de una corriente eléctrica al recubrimiento; éstos, al tener una baja conductividad eléctrica actúan como aislante, mientras que el substrato, al ser metálico, dispone de una buena conductividad.

El equipo dispone de dos electrodos, uno conectado al sustrato de la pieza a medir, y el otro sobre el recubrimiento El equipo mide un diferencial de

potencial de tal modo que, cuando se produce una discontinuidad, esa diferencia de potencial desaparece, informando al operador de que hay discontinuidad.

Las imprimaciones ricas en zinc son conductoras por lo que las mediciones en este tipo de recubrimientos no son válidas. Sin embargo, si están recubiertas de una pintura aislante, como el PUR, si es cuantificable las discontinuidades mediante estos equipos.

La forma de aplicación es mediante la norma ASTM-D5162, debido a que en la norma ISO no se contempla.

Para recubrimientos inferiores de 500 micras se realizará la inspección mediante un equipo de baja tensión (aplicando la norma ASTM D5162-A) y para recubrimientos mayores de 500 micras se hará con un equipo de alta tensión (aplicando la norma ASTM D5162-B) (48).

No se permitirá ninguna discontinuidad en el recubrimiento.

6.6.3.4. Medición de película seca

El espesor de la película seca de la pintura es algo fundamental para conocer el espesor deseado.

A la hora de medir el espesor es fundamental tener en cuenta la norma ISO 19840, la cual define el cálculo de los espesores de película sobre una superficie rugosa. Es importante saber el valor de corrección para el espesor. La manera correcta es realizar mediciones según el Anexo D de la norma, para obtener un valor cuantificado.

Cuando un sistema de pintura es multicapa, se ha de medir cada capa, para de esta manera, saber el espesor exacto de cada una de ella, ya que el comportamiento de la pintura viene definido por el espesor de la capa, pudiendo fallar tanto por defecto como por exceso. (49)

La forma de medir el espesor se hará siguiendo la norma ISO 2808 (50). Hay distintos métodos, por lo que el sistema elegido será el acordado por ambas partes. En el mercado hay muchos equipos: lo importante que el equipo este calibrado por un ente adecuado y válida su calibración. Además de ser el idóneo para el sustrato. (51) En la Figura 6.7. se puede ver un equipo actual con volcado de datos a una aplicación móvil para su registro.

Figura 6.7.: Medición de espesor de película seca.

Fuente: www.elcometer.com

Cuando surjan dudas del espesor de cada capa, lo recomendable es que se realice un ensayo de espesor de película seca, el apartado 5.4 de la norma ISO 2808: corte y análisis de la sección.

Sobre el criterio de aceptabilidad de espesores, la medición se debe comprender entre valores máximo y mínimo.(52) El mínimo según la norma ISO 12944-7 es del 80% del nominal. Respecto al máximo, recomienda la

misma norma, que el espesor no triplique el espesor nominal. Técnicamente, la mejor opción es seguir la recomendación del fabricante, o aplicar un criterio, que normalmente se sitúa en el 35% de sobre espesor del nominal.

6.6.3.5. Prueba de adhesión

Hay distintas pruebas de adhesión: desde la simple prueba de cinta adhesiva según la norma ISO 2409, hasta la norma ISO 4624 sobre medición mediante tracción (53).

Ambas pruebas son destructivas, la norma ISO 2409 no exige un gran equipamiento, pero en cambio los resultados obtenidos no son cuantificables y son subjetivos, ya que dependen de la valoración del inspector. La prueba se realiza mediante el corte en una matriz de cuadrados, a los que se le somete a una prueba de adherencia con una cinta adhesiva. Cuando se despega la cinta, se comprueba el estado de la matriz de cuadrados.

Sin embargo, la norma ISO 4624 es una norma que exige un mayor equipamiento, ya que se realiza una prueba de tracción con equipos específicos.(54)

Si se define en la especificación, lo correcto es realizar la prueba de tracción hasta que se despegue el testigo, anotando dicha presión.

En el testigo se va a quedar la huella por donde ha fallado el recubrimiento. Anotando si el fallo es cohesivo, es decir, dentro de la propia capa, o de adhesión, que es el que se produce entre capas.

Un ejemplo de anotación sería “20 MPa; 15% B; 85% B/C”, lo cual significaría rotura a 20 MPa, 15% de fallo cohesivo en la capa B y 85 % de fallo entre las capas B y C. En el testigo se vería un 15 % del color de la capa B y un 85% del color de la C.(55)

Los resultados de la prueba de tracción son más concluyentes ya que se

puede obtener, la presión de rotura y la capa que falla. Por lo tanto, entendemos que para este Trabajo Fin de Grado es más interesante este sistema.

6.6.4. Informe final

El informe final es el documento que recoge toda la información de las inspecciones realizadas durante todo el protocolo de pintura que se realiza en aplicación. Es un documento contractual, ya que da el visto bueno por parte del cliente o un representante a dicho efecto, de los trabajos realizados; en muchos casos puede ser parte de un hito de pago y ser también inicio de la garantía del trabajo.

Debido al gran número de inspecciones que hay que realizar a lo largo del proceso de recubrimiento y el hecho de que cada una debe ser realizada por distintas personas involucradas en el proceso como se ve en la Figura 6.1., se recomienda que de cada inspección se haga un informe y una vez hecho todos se haga un dossier donde se agrupen todos esos informes.

El formato donde se plasma los distintos formatos se debe discutir en la reunión inicial. El motivo es, que cada empresa puede tener su formato dependiendo de su sistema de calidad y por ello lo mejor es unir sinergias y unificar para cada proyecto los informes emitidos.

La norma ISO 12944-8, explica que información debe contener un informe final y en el Anexo J de la norma, muestra un ejemplo de informe final y que información puede contener. Es un informe de mínimos, ya que no recoge distintas mediciones como las visuales o las mediciones de adherencia que son básicas para ser constatadas en un informe final.

7. MANTENIMIENTO

7.1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de las superficies pintadas es crucial, para que el sustrato esté protegido durante la vida en servicio del equipo. Los recubrimientos van perdiendo sus propiedades y, por lo tanto, van dejando de realizar sus funciones correctamente; así que transcurrido un tiempo se deben repintar.

Al hablar de mantenimiento de superficies metálicas pintadas, surgen muchas dudas de cómo realizar ese mantenimiento. En nuestra opinión se debe aplicar el concepto de los tres tipos de mantenimiento clásicos, dependiendo de la disposición de las superficies; a partir de ahí, es preciso buscar nuevos métodos de mantenimientos más acordes con los sistemas modernos de gestión. Por ello es conveniente distinguir entre:

- Mantenimiento correctivo, se aplicaría a zonas sometidas a desgaste, suciedad, etc.
- Mantenimiento preventivo, se aplicaría a zonas que sólo puede realizarse en situaciones que permitan la operativa del buque, por ejemplo, tanques, chimeneas, fondos.
- Mantenimiento predictivo, situaciones donde se puedan abordar un análisis cíclico de las superficies, permitiendo un análisis continuo.

En la Figura 7.1. podemos ver un resumen de los mantenimientos.

7.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Durante la operación normal del buque se produce diversas situaciones que hacen que la pintura se vea dañada, obligando a ser repintada. El mantenimiento correctivo es el sistema que se debe utilizar, muy a menudo, en los motores, bandejas y sentinas, ya que, regularmente, se produce

Figura 7.1.: Diagrama de explicativo del mantenimiento de pintura.

Fuente: Elaboración propia

derrames de producto oleaginosos, lo que hace que haya que volver a pintar. Un ejemplo del estado de una sala de depuradoras debido a las fugas por los trabajos de mantenimiento se puede ver en la Figura 7. 2..

Figura 7.2.: Sala de depuradoras.

Fuente: Elaboración propia

Normalmente se realiza durante las labores de mantenimiento normales del barco, durante la navegación. Suele consistir en una limpieza con productos químicos. Después se realiza un repintado con la capa de terminación. Es recomendable si la suciedad es muy grande, eliminar las capas de pintura mediante cepillado manual, para luego parchear adecuadamente.

Hay zonas del barco en donde este tipo de trabajos son constantes, por ejemplo, los filtros de combustible y de aceite, depuradoras, etc. Los derrames son frecuentes, por lo que la limpieza y el repintado son continuos.

Desgraciadamente, las tripulaciones sufren una mayor reducción de personal que conlleva una peor conservación de las salas de máquinas haciendo que este tipo de mantenimiento se esté reduciendo al mínimo.

7.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Cuando se habla de mantenimiento preventivo en el caso de pinturas, queremos focalizarlo en esos equipos que sólo son posible inspeccionarlo en momentos puntuales, por ejemplo, paradas, astillero, etc., La decisión debe ser inmediata, si repintar o no.

Los equipos que pertenecen en estos puntos son los tanques de combustible, equipos que estén situado en zonas donde es necesario andamiajes, etc.

La mejor manera de no tener problemas y acertar, es decidir hacer un mantenimiento preventivo y repintarlo; por otro lado, sería correcto realizar una inspección antes de la acción, y ver el estado de la pintura para tomar decisiones ante el próximo mantenimiento, es decir, alimentar una base de datos; de esta manera poder ajustar mejor los tiempos entre mantenimiento, y aumentarlos o ajustar los procedimientos de pintura.

La retroalimentación en este tipo de inspecciones es fundamental para mejorar los sistemas. Si al hacer la inspección se observa que la pintura está en óptimas condiciones, se debería hacer una evaluación y analizar si es posible que el protocolo de pintura resista hasta el siguiente mantenimiento. Los datos obtenidos se deben introducir en una base de datos de la empresa para de esta manera, saber cómo mejorar, abaratar o mantener los sistemas de pintura.

Los barcos como se ha explicado en otros apartados del trabajo son equipos que se mueven por el mundo y las condiciones ambientales que ha trabajado durante el periodo entre pintados puede variar de un periodo a otro, por lo que los resultados positivos obtenidos una vez, pueden no ser positivos en el otro periodo, pero indistintamente, la retroalimentación del sistema permite que los protocolos puedan ser mejorados.

7.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo en un sistema de pintura es una tarea interesante, ya que impone crear un programa de inspecciones en distintas áreas, donde los resultados se introducirían en una base de datos que iría alimentando y mejorando los procedimientos de pintura.

Las inspecciones se realizarían mediante inspecciones visuales aplicando la norma ISO 4628, como se ha explicado anteriormente, solo que en este caso dependiendo del resultado obtenido se decidiría el repintado o no de la superficie.

Los datos obtenidos en las inspecciones serían recogidos en la base de datos de mantenimiento, decidiendo cuando repintar como parcheo y cuando repintar en totalidad. El tipo de repintado es muy importante porque el parcheo, es una actividad que se puede realizar perfectamente a bordo por el personal mientras que el repintado de la totalidad, es una tarea solo realizable en paradas mayores, y muchas veces por empresas especialistas.

La única referencia normativa seria según la norma ISO 12944-5 se debe repintar cuando el índice de corrosión es RI=3, pero no es el único defecto que obligaría a realizar un repintado. Los criterios de corte serían impuestos por la empresa y, también, y muy importante por las necesidades operacionales del buque. Los resultados deben ser estudiados por la oficina técnica de la empresa, y tomar las decisiones según criterios de criticidad, operación, económicos, etc. Un ejemplo de lo que se quiere expresar, es que, si se observa que se ha producido escamamiento en un mamparo de la sala de máquinas, que exige montar andamios, y queda 6 meses para ir a dique seco, pues la mejor opción sería hacer una parcheo, y dejar para la parada el repintado de todo el mamparo, más que atacar el repintado completo en el momento.

De inicio se utilizarían las mismas superficies de estudio que las de las

inspecciones. De esta manera se puede ir observando cómo se va degradando a lo largo del tiempo la superficie.

El criterio de inspección, como hemos hablado anteriormente, sería estudiar las condiciones de la superficie mediante inspección visual aplicando la norma ISO 4628. La idea es realizar un informe periódico de la superficie en cuestión y estudiar junto con la oficina técnica la necesidad o no de repintados según el estado del recubrimiento.

Usando como base el Anexo K de la norma ISO 12944-8, se puede elaborar informes de estas inspecciones.

Los tiempos entre inspecciones se irían adaptando, es decir, en un inicio, tras el repintado y durante el periodo de garantía se realizaría inspecciones con intervalo entre inspecciones más cortos y se iría ampliando según pase el tiempo. En la pintura como en cualquier elemento en la vida hay una mayor probabilidad de fallo en un periodo inicial (concepto fallo por muerte infantil) debido a fallo a la aplicación, elección de procedimientos, etc., que en el periodo de vida útil.

Los periodos entre inspecciones van a depender en gran medida de la operativa del buque, es decir, si el barco opera siempre entre dos puertos, la inspección la podría realizar una persona ajena a la tripulación del buque, con un perfil especialista en estas funciones. En otros casos es posible que la realice el personal de a bordo, o en situaciones extraordinarias, se podría dar el caso de que el personal de a bordo sacara fotografías, y estas se analizarían desde tierra.

Por lo tanto, la información obtenida de estos estudios va permitir un correcto mantenimiento y a la vez una mejora de calidad o en su defecto una optimización del protocolo de pintura para obtener un procedimiento más económico, para que cumpla perfectamente la vida útil del equipo o el tiempo entre mantenimientos.

8. CONCLUSIONES

El Trabajo Fin de Grado, Tratamientos anticorrosivos a base de pinturas especializadas para sistemas metálicos aplicados a una sala máquinas de un buque, ha tenido como objetivo fundamental realizar una especificación de pintura, mediante la utilización de normativa internacional, para los distintos substratos que pueden encontrarse en una sala de máquinas.

Las conclusiones más relevantes del mismo se detallan a continuación:

1. Se puede determinar que es posible realizar una especificación mediante normas internacionales y sobre la base de las normas ISO para aceros al carbono hasta un rango de temperatura de 400ºC y sumergido en agua, así como para aceros galvanizados

2. Tras un meticuloso análisis, se puede afirmar que, en general, las normas ISO son amplias pero los únicos casos que la norma ISO no abarca las necesidades de la especificación afectan a:

    - Limpieza química de substrato. La norma ISO solo hace una breve referencia en la ISO 12944-4, pero es insuficiente, teniendo que recurrir a la norma SSPC-SP1.

    - Cuando el substrato no es aceros al carbono o acero galvanizado, la norma ISO no es válida. En estos casos, se debe recurrir siempre a proveedores de material o proveedores de pintura, ya que no hay normativa internacional válida.

    - Procedimiento con agente químicos/altas temperaturas. En este caso la norma ISO es escasa, hay pequeñas referencias las cuales coinciden mayoritariamente con las recomendaciones de los fabricantes de pinturas. Por lo tanto, en este punto las recomendaciones generales se pueden hacer con la norma ISO, pero las especificas es mejor solicitar recomendaciones al

fabricante.

- Mantenimiento. La norma ISO es extensa en inspección y mantenimiento, pero apenas hay referencias a cuando se ha de disponer un repintado, o en su defecto dar recomendaciones al respecto. En este punto va a depender mucho de la información obtenida por las navieras respecto a durabilidad de los procedimientos.

3. A modo de colofón, se puede decir que, con las distintas normas ISO en la mano, es posible elaborar una especificación de pintura para poder ser usada en cualquier parte del mundo; simplemente habría que ajustar ciertas normas a nuestro campo de aplicación; ahora bien, debido a la amplia bibliografía existente, no es un trabajo difícil.

4. La importancia de tener una especificación propia por parte de la naviera, se basa en que, realizando un seguimiento a lo largo de la vida útil del buque, se puede ir adaptando y modificando la calidad de la especificación, según nuestras necesidades y, de esta manera, obtener un rendimiento económico mejor para próximas construcciones, considerando que todo el conocimiento adquirido es de la naviera.

5. La gran aportación de este Trabajo Fin de Grado queda recogido en el Anexo 5, en la Tabla 10.6, donde se recogen las distintas especificaciones para cada tipo de sustrato

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. V.V.A.A. *Coatings for corrosion protection: offshore oil and gas operation facilities, marine pipeline and ship structures.* Bolixi, Ms, USA, 2004.

2. OKAYAMA, Y, ANDO, K, TOMISAWA, M y HONDA, K. *The national shipbuilding research program: Integrated Hull Construction Outfitting and Painting (IHOP)* [online]. Los Angeles, 1983. [Accessed 17 mayo 2017]. Available from: http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA456333

3. ECHEVARRIÍA IZAGUIRRE, Javier. Tecnologías internacionales de construcción naval desarrolladas en el País Vasco. *Rev. int. estudios vascos*. 2006. Vol. 51, p. 385-412.

4. BANKEN, E. L. J. y PRASCHAN, E.A. *MOU Between TC-35 and D01*. Nueva York, 2001.

5. BRISO MEDINA, David Fernando. *Análisis de ingeniería a un sistema de calefacción mediante aceite térmico en un buque porta contenedores*. Universidad Austral de Chile, 2006.

6. WÄRTSILÄ ENGINES. *Marine Installation Manual RTA48T-D*. 1º ED. Wintherthur : Wärtsilä, 2010.

7. BARDAL, Einar, JOHNSEN, Roy y GARTLAND, Per Olav. Prediction of galvanic corrosion rates and distribution by means of calculation and experimental models. *CORROSION*

[online]. diciembre 1984. Vol. 40, no. 12, p. 628-633. DOI 10.5006/1.3593898. Available from: http://corrosionjournal.org/doi/10.5006/1.3593898

8. GILBERT, P T. Corrosion resisting properties of 90/10 Copper–Nickel–Iron alloy with particular reference to offshore oil and gas applications. *British Corrosion Journal* [online]. 1 enero 1979. Vol. 14, no. 1, p. 20-25. DOI 10.1179/000705979798276059. Available from: http://dx.doi.org/10.1179/000705979798276059doi: 10.1179/000705979798276059

9. ROGERS, J, DOWSETT, A B, DENNIS, P J, LEE, J V y KEEVIL, C W. Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of legionella pneumophila in potable water systems. *Applied and environmental microbiology* [online]. 1 junio 1994. Vol. 60, no. 6, p. 1842-51. [Accessed 19 agosto 2017]. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16349278

10. ASETUB. *Las conducciones de agua y la legionella.* Madrid, 2016.

11. LITTLE, BJ y MANSFELD, FB. The corrosion behavior of stainless steels and copper alloys exposed to natural seawater. *Materials and Corrosion* [online]. 1991. Vol. 42, p. 331-340. [Accessed 12 mayo 2017]. Available from: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.19910420702/full

12. ACKERMANN, Norbert. Choosing the correct coating for cargo tanks. *PCE*. 1998. No. April, p. 44-51.

13. OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO. *Prevención de accidentes a bordo de los buque en el mar y en los puertos*. 1º Ed. Ginebra : OIT, 1996. ISBN 9223108268.

14. AGUDO SAIZ, Diego. *La importancia del diseño en la corrosión de los materiales: caso particular de la ETSIIT, Universidad de Cantabria*. Escuela Técnica Superior de Ingeniero Industriales y de Telecomunicación, 2017.

15. SORENSEN, P. A., KIIL, S., DAM-JOHANSEN, K. y WEINELL, C. E. Anticorrosive coatings: A review. *Journal of Coatings Technology Research*. 2009. Vol. 6, no. 2, p. 135-176. DOI 10.1007/s11998-008-9144-2.

16. RIVERO, S, CHICO, B, FUENTE, D De y MORCILLO, M. Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente marino polar. Estudio del efecto del régimen de vientos. *Revista de Metalurgia*. 2007. Vol. 43, no. 5, p. 370-383. DOI 10.3989/revmetalm.2007.v43.i5.81.

17. FRENZEL, Lydia M y PH, D. A Comparison of ISO and NACE-SSPC Development of Surface Preparation Standards including Dry Blast and High Pressure Water Jet Cleaning Methods. . San Marcos, Tx, USA. 2012.

18. GONZÁLEZ MARTÍN, J. La pintura como inhibidor de corrosión en las estructuras de acero especialmente

expuestas y su rendimiento. *Informes de la Construcción* [online]. 30 junio 1999. Vol. 51, no. 461, p. 9-17. DOI 10.3989/ic.1999.v51.i461.846. Available from: http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/846/930

19. CROOKES, Roger. *Pickling and passivating stainless steel*. Bruselas, 2007.

20. PEART, JW. *The effectiveness of power tool cleaning as an alternative to abrasive blasting* [online]. San Diego, Ca, USA, 1995. [Accessed 28 agosto 2017]. Available from: http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA451950

21. BETHENCOURT, Manuel, BOTANA, Javier, CANO, M.J. y SANCHEZ-AMAYA, Jose Maria. Estudio del efecto de la preparación superficial metálica sobre sistemas de pintura de base. In : *VIII Congreso Nacional de Materiales*. Ed. 1. Valencia, España : Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2014. p. 1059-1066. ISBN 84-9705-594-2.

22. V.V.A.A. Surface preparation standards explained. *Blast Journal* [online]. 2015. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: http://blastjournal.com/surface-preparation-standards-explained/

23. V.V.A.A. How to choose the right abrasive. *Blast Journal* [online]. 2015. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: http://blastjournal.com/how-to-choose-the-right-abrasive/

24. AXE, Nick. Detecting defects in steel surfaces. *Blast Journal* [online]. 2016. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: http://blastjournal.com/defects-in-steel-surfaces/

25. SIKA. Preparación de superficies metalicas. *CATALOGO*. junio 2015. P. 16.

26. THE OFFICIAL ELCOMETER CHANNEL. Measuring Surface Profile using the Elcometer 122 Replica Tape & Elcometer 124 Thickness Gauge - YouTube. *ELCOMETER* [online]. 2016. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=E5Nhhnxz6p4&list=PLeJNusw6ZXonAKE7vD3KtHDd7cStMX5nh

27. MALFANTI, Roberto. Coating inspection procedures during shop-priming operations. *NACE International, Inspect This*. 2005. Vol. 10, no. 7, p. 6-8.

28. PARASHAR, Geeta, SRIVASTAVA, Deepak y KUMAR, Pramod. Ethyl silicate binders for high performance coatings. *Progress in Organic Coatings* [online]. junio 2001. Vol. 42, no. 1-2, p. 1-14. DOI 10.1016/S0300-9440(01)00128-X. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030094400100128X

29. ZHU, Yanfang, XIONG, Jinping, TANG, Yuming y ZUO, Yu. EIS study on failure process of two polyurethane composite coatings. *Progress in Organic Coatings* [online]. septiembre

2010. Vol. 69, no. 1, p. 7-11. OI 10.1016/j.porgcoat.2010.04 .017. Available from: http://linkinghub.elsevier.com/ retrieve/pii/S0300944010001190

30. RODRÍGUEZ BLASCO, Maria Teresa. *Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivas, curables a temperatura ambiente* [online]. Universitat Jaume I, 2005. [Accessed 20 agosto 2017]. Available from: http://www.tdx.cat/handle/10803/10555

31. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 3º. Ginebra : World Health Organization, 2004. ISBN 9241546387.

32. TOMBOULIAN, P., SCHWEITZER, L., MULLIN, K., WILSON, J. y KHIARI, D. Materials used in distribution systems. Contributions to taste and odor. *Water Science & Technology*. 2004. Vol. 49, no. 9, p. 219-226.

33. GROYSMAN, Alec. Corrosion in systems for storage and trasnportation of petroleum products and biofuels. *NACE Paper 5455*. 2015. P. 16.

34. WEI, Chao, ELIASSON, Johnny, JANSEN, Edward, WANG, Ge y BASU, Roger I. IMO PSPC implementation and 15 years of target useful coating life. *Ship Structure Committee (SSC) Symposium*. 2011. Vol. 216, no. 82, p. 15.

35. KATOH, K., IMAI, S., YASUNAGA, D T, MIYUKI, H., YAMANE, Y, OHYABU, H, KOBAYASHI, Y, YOSHIKAWA, M

y TOMITA, Y. *Study on localised corrosion on cargo oil tank bottom plate of oil tanker*. 2003. Tokio : Japan Ship Technology Research Association.

36. BIEZMA, M. V., BERLANGA, C. y FERNÁNDEZ, J. Revisión y estado del arte de la corrosividad del etanol y sus mezclas con gasolina. *Revista de Metalurgia* [online]. 2011. Vol. 47, no. 6, p. 507-518. DOI 10.3989/revmetalmadrid.1016. Available from: http://revistademetalurgia.revistas.csic.es /index.php/revistademetalurgia/article/view/1215/1226

37. DEL AMO, B., VELEVA, L., DI SARLI, A. R. y ELSNER, C. I. Performance of coated steel systems exposed to different media: Part I. Painted galvanized steel. *Progress in Organic Coatings*. 2004. Vol. 50, no. 3, p. 179-192. DOI 10.1016/j.porgcoat.2004.02.003.

38. DUNHAM, Kimberlie J. Preparing hot-dip galvanized steel surfaces for painting or powder coating: A primer. *Metal Finishing*. 2002. Vol. 100, no. 9, p. 20-25. DOI 10.1016/S0026-0576(02)80746-2.

39. KOSMAČ, Alenka. *Colouring stainless steel*. Bruselas, 2011.

40. V.V.A.A. *Copper-nickel fabrication*. New York, 1999.

41. ULLOA GALLARDO, Christian Alejandro. *Metodología para aplicaciones de pintura en edificaciones*. UNIVERSIDAD DE MAGALLANES, 2006.

42. BEAMISH, D. Monitoring environmental conditions. *Materials performance* [online]. 2004. Vol. February, p. 28-32. [Accessed 28 agosto 2017]. Available from: http://www.paintsquare.com/library/articles/monitoringenvironmentalconditions.pdf

43. ABARCA GARCIA, Juan. *Manual de pintura para mantenimiento industrial y marino*. 1º Ed. San Jose, C.R. : EDITORAMA, 2003. ISBN 9977880786.

44. THE OFFICIAL ELCOMETER CHANNEL. How to measure wet film thickness using Elcometer wet film combs. *ELCOMETER* [online]. 2016. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=INnx7g5TF-k&index=1&list=PLeJNusw6ZXom3T4eHWS19R1FLnYyoVNFi

45. GREENFIELD, Terry. How to plan facility coatings condition assessments. [online]. 2017. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: https://www.corrosionpedia.com/2/1917/corrosion-prevention/paints-and-plastics-coatings/how-to-plan-facility-coatings-condition-assessments

46. ROOBOL, Norman R. *Industrial painting. Principles and practices*. 1º Ed. Carol Stream, IL, USA : Hitchcock Publishing Co, 1991. ISBN 093393110.

47. BYK-GARDNER GMBH. *Brillo*. Geretsried, 2012.

48. SMITH, Lloyd M. Fundamentals of holiday detection. *PCE*.

2001. Vol. March, p. 37-40.

49. LAZARUS, V. y PAUCHARD, L. From craquelures to spiral crack patterns: influence of layer thickness on the crack patterns induced by desiccation. *Soft Matter* [online]. 2011. Vol. 7, no. 6, p. 2552-2559. DOI 10.1039/c0sm00900h. Available from: http://xlink.rsc.org/?DOI=c0sm00900h

50. CAMINA, M. Measuring paint film thickness on grit-blasted steel : ISO 2808 and its effects. *PCE*. 1997. Vol. September, p. 22-25.

51. PAULO BIOT, Jordi. Métodos de medición de espesores de recubrimientos. *AIAS*. 2017. Vol. 110, p. 3-6.

52. KATTAN, Raouf y FLETCHER, John. The impact of minimum and maximum DFT values on coating performance. *Corriosonpedia* [online]. 2015. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: https://www.corrosionpedia.com/2/3068/environments/marine/the-impact-of-minimum-maximum-dft-values-on-coating-performance

53. SMITH, Lloyd M. Adhesion testing on steel. *PCE*. 2001. No. January, p. 43-46.

54. THE OFFICIAL ELCOMETER CHANNEL. 6. How to Complete a Pull-Off Adhesion Test - YouTube. *ELCOMETER* [online]. 2016. [Accessed 6 mayo 2017]. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=uJXt0Pbrj0k

55. THE OFFICIAL ELCOMETER CHANNEL. Assessing the result of a Pull-Off adhesion test. *ELCOMETER* [online]. 2016. [Accessed 8 mayo 2017]. Available from: https://www.youtube.com/watch?annotation_id=annotation_3280101953&feature=iv&src_vid=uJXt0Pbrj0k&v=2OG23w7Ww9Q

10. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 10.1.

Listado de normas internacionales usadas en el trabajo.

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 2409:2013	Pinturas y barnices. Ensayo de corte por enrejado.	6
ISO 2808:2007	Pinturas y barnices. Determinación del espesor de película.	6
ISO 2813:1994	Pinturas y barnices. Determinación del brillo especular de películas de pintura no metálicas a 20º, 60º y 85º.	6
ISO 4623-1:2002	Pinturas y barnices. Determinación de la resistencia a la corrosión filiforme. Parte 1: Sustratos de acero.	6
ISO 4624:2016	Pinturas y barnices. Ensayo de adherencia por tracción	6
ISO 4628-1:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 1: Introducción general y sistema de designación.	6
ISO 4628-2:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento.	6,7
ISO 4628-3:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación.	6,7
ISO 4628-4:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento.	6,7
ISO 4628-5:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación.	6,7

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 4628-6:2011	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la cantidad y tamaño de los defectos, y la intensidad de los cambios uniformes de aspecto. Parte 6: Evaluación del grado de enyesado por el método de la cinta.	6
ISO 4628-7:2016	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 7: Evaluación del grado de enyesado por el método del terciopelo.	6
ISO 4628-8:2012	Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 8: Evaluación del grado de delaminación y corrosión a partir de una incisión u otro defecto artificial.	6,7
ISO 8501-1:2007	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de substratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores.	4.4,6
ISO 8501-2:2002	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 2: Grados de preparación de substratos de acero previamente pintados, después de la eliminación localizada de recubrimientos anteriores.	4.4,6
ISO 8501-3:2006	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 3: Grados de preparación de soldaduras, bordes y otras áreas con imperfecciones en la superficie.	4.4,6

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 8501-4:2008	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 4: Estados iniciales de la superficie, grados de preparación y grados de oxidación instantánea en relación con el decapado por chorro de agua a alta presión	4.4,6
ISO 8502-3:2000	Preparación de sustratos de acero previa aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Parte 3: Determinación del polvo sobre superficies de acero preparadas para ser pintadas (método de la cinta adhesiva sensible a la presión).	4.4,6
ISO 8502-4:2000	Preparación de sustratos de acero previa aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Parte 4: Guía para la estimación de la probabilidad de condensación previa a la aplicación de pinturas.	5,6
ISO 8502-6:2007	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Ensayos para la evaluación de la limpieza de las superficies. Parte 6: Extracción de contaminantes solubles para análisis. Método Bresle.	4.4,6
ISO 8503-1:2012	Preparación de substratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los substratos de acero chorreados. Parte 1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos.	4.4,6
ISO 8504-3:2002	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de preparación de las superficies. Parte 3: Limpieza manual y con herramientas motorizadas.	4.4
ISO 9223:2012	Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Clasificación, determinación y estimación.	4.2

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 9224:2012	Corrosión de los metales y aleaciones. Corrosividad de atmósferas. Valores de referencia para las categorías de corrosividad	4.2
ISO 11124-1:1993	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 1: Introducción general y clasificación.	4.4.
ISO 11124-2:1993	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 2: Granalla angular de fundición de hierro.	4.4.
ISO 11124-3:1993	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 3: Granalla esférica y angular de acero moldeado de alto contenido en carbono.	4.4.
ISO 11124-4:1993	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 4: Granalla esférica de acero moldeado de bajo contenido en carbono.	4.4.
ISO 11125-1:1993	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Método de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. parte 1: Toma de muestras.	4.4.
ISO 11125-2:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 2: Análisis granulométrico.	4.4.

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 11125-3:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 3: Determinación de la dureza.	4.4.
ISO 11125-4:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 4: Determinación de la densidad aparente	4.4.
ISO 11125-6:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 6: Determinación de materias extrañas.	4.4.
ISO 11125-7:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Métodos de ensayo para materiales abrasivos metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 7: Determinación de la humedad.	4.4.
ISO 11126-1:1997	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 1: Introducción general y clasificación.	4.4.
ISO 11126-3:1998	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 3: Escoria del refinado de cobre.	4.4.
ISO 11126-4:1998	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 4: Escoria de horno de carbón.	4.4.

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 11126-5:1998	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 5: Escoria del refinado de níquel.	4.4.
ISO 11126-6:1998	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 5: Escoria del refinado de níquel.	4.4.
ISO 11126-7:2000	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 7: Óxido de aluminio fundido.	4.4.
ISO 11126-8:1998	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 8: Arena de olivino.	4.4.
ISO 11126-9:2006	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 9: Estaurolita.	4.4.
ISO 11126-10:2006	Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. Especificaciones para materiales abrasivos no metálicos destinados a la preparación de superficies por chorreado. Parte 10: Granate almandino.	4.4.
ISO 12944-1:1998	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 1: Introducción general.	4,5,6
ISO 12944-2:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 2: Clasificación de ambientes.	4,5,6

NORMA	DESCRIPCIÓN	CAPÍTULO
ISO 12944-3:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 3: Consideraciones sobre el diseño.	4.3
ISO 12944-4:1999	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 4: Tipos y preparación de superficies	4.4
ISO 12944-5:2007	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores.	4.5
ISO 12944-6:1998	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio.	4.5
ISO 12944-7:1998	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 7: Ejecución y supervisión de trabajos de pintura	4,5,6
ISO 12944-8:1998	Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 8: Desarrollo de especificaciones para trabajos nuevos y mantenimiento.	4,5,6,7
ISO 17652-1:2003	Soldeo. Ensayos para pinturas de imprimación en relación con el soldeo y los procesos afines. Parte 1: Requisitos generales	4.4
ISO 19840:2012	Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina.	4.5
ASTM D5126-15	Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive Protective Coating on Metallic Substrates	6

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

Tabla 10.2.

Clasificación de tuberías según producto, temperatura y presión.

Medium/type of pipeline	Design pressure PR [bar] Design temperature t [°C]		
Pipe class	**I**	**II**	**III**
Toxic media	all		
Corrosive media Inflammable media with service temperature above the flash point Inflammable media with a flash point of 60 °C or less Liquefied gases (LG)	all	1	–
Steam	PR > 16 or t > 300	PR ≤ 16 and t ≤ 300	PR ≤ 7 and t ≤170
Thermal oil	PR > 16 or t > 300	PR ≤ 16 and t ≤ 300	PR ≤ 7 and t ≤150
Air, gas Non-flammable hydraulic fluid Boiler feedwater, condensate Seawater and fresh water for cooling Brine in refrigerating plant	PR > 40 or t > 300	PR ≤ 40 and t ≤ 300	PR ≤ 16 and t ≤ 200
Liquid fuels, lubricating oil, flammable hydraulic fluid	PR > 16 or t > 150	PR ≤ 16 and t ≤ 150	PR ≤ 7 and t ≤ 60
Cargo pipelines for oil tankers	–	–	all
Cargo and venting lines for gas and chemical tankers	all	–	–
Refrigerants	–	all	–
Open-ended pipelines (without shutoff), e.g. drains, venting pipes, overflow lines and boiler blowdown lines	–	–	all

1 Classification in Pipe Class II is possible if special safety arrangements are available and structural safety precautions are arranged.

Fuente: Germanische Lloyds

Tabla 10.3.

Materiales aprobados según clase de tuberías.

Material or application		Pipe class		
		I	II	III
Steels	Pipes	Steel pipes for high temperatures above 300 °C, pipes made of steel with high/low temperature toughness at temperatures below – 10 °C, stainless steel pipes for chemicals	Pipes for general applications	Steel not subject to any special quality specification, weldability in accordance with Rules for Welding
	Forgings, plates, flanges, steel sections and bars	Steel suitable for the corresponding service and processing conditions, high temperature steel for temperatures above 300 °C, steel with high/low-temperature toughness for temperatures below –10 °C		
	Bolts, nuts	Bolts for general machinery constructions, high-temperature steel for temperatures above 300 °C, steel with high/low temperature toughness for temperatures below –10 °C	Bolts for general machine construction	
Castings (valves, fittings, pipes)	Cast steel	High-temperature cast steel for temperatures above 300 °C, cast steel with high/low temperature toughness at temperatures below –10 °C, stainless castings for aggressive media	Cast steel for general applications	
	Nodular cast iron	Only ferritic grades, elongation A_5 at least 15 %		
	Cast iron with lamellar graphite	–	–	Up to 220 °C, grey cast iron is not permitted for valves and fittings on ship's side, on collision bulkhead on fuel and oil tanks and for relief valves.
Non-ferrous metals (valves, fittings, pipes)	Copper, copper alloys	In cargo lines on chemical tankers only with special approval, low-temperature copper-nickel-alloys by special agreement	For seawater and alkaline water only corrosion resistant copper and copper alloys	
	Aluminium, aluminium alloys	In cargo and processing lines on gas tankers	Only with the agreement of GL up to 200 °C, not permitted in fire extinguishing systems	
Non-metallic materials	Plastics	–	–	On special approval (see B.2.6)

Fuente: Germanische Lloyds

Tabla 10.4.

Materiales sala de máquinas.

CIRCUITO	SUB EQUIPOS	PRODUCTO	RECUBRIMIENTO MECÁNICO	PRODUCTO (EN CONTACTO CON EL RECUBRIMIENTO)	CLASE SEGÚN CLASIFICADORA	NORMA MATERIAL	MATERIAL
MOTOR PRINCIPAL		NA	NA	NA		SUMINISTRADOR	
DIESEL GENERADORES		NA	NA	NA		SUMINISTRADOR	
SERVO						SUMINISTRADOR	
CALDERA		NA	SI	NA		SUMINISTRADOR	
ECONOMIZADOR		NA	SI	NA		SUMINISTRADOR	
VAPOR							
	TUBERÍAS	VAPOR	SI	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	VAPOR	SI	NO	III	EN-10213-2	WCB
CONDESADO							
	BOMBAS	AGUA ALIMENTACIÓN	NA	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA ALIMENTACIÓN	SI	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUA ALIMENTACIÓN	SI	NO	III	EN-10213-2	WCB
	TANQUE EXPANSIÓN	CONDENSADO	SI	SI (INTERIORMENTE)		ISO 9328-2 (2011).	P265-GH
SISTEMA DO							
	TANQUES	DIESEL OÍL	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	BOMBAS	DIESEL OÍL	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	DIESEL OÍL	NO	NO	III	ISO 9329-1	P265TR2
	VÁLVULAS	DIESEL OÍL	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
FO TANQUES							
	ALMACÉN	IFO 380	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	SEDIMENTACIÓN	IFO 380	SI	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	USO DIARIO	IFO 380	SI	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
FO TRASIEGO							
	BOMBAS	IFO 380	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	NO	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	NO	NO	II	EN-10213-2	WCB
FO TRATAMIENTO							
	DEPURADORAS	IFO 380	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	SI	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	SI	NO	II	EN-10213-2	WCB
FO CONSUMO							
	BOMBAS	IFO 380	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	IFO 380	SI	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	IFO 380	SI	NO	II	EN-10213-2	WCB
LO TANQUES							
	ALMACÉN	ACEITE	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	CARTER PRINCIPAL Y AUX	ACEITE	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	CILINDROS	ACEITE	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	VARIOS	ACEITE	NO	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E

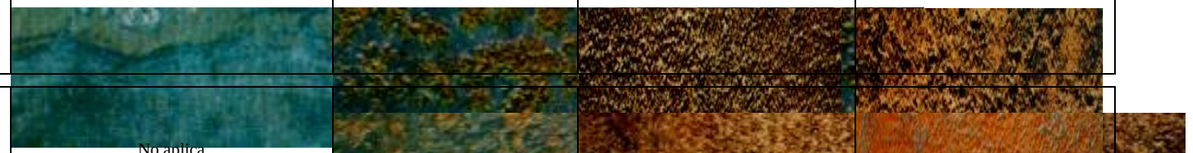
CIRCUITO	SUB EQUIPOS	PRODUCTO	RECUBRIMIENTO MECÁNICO	PRODUCTO (EN CONTACTO CON EL RECUBRIMIENTO)	CLASE SEGÚN CLASIFICADORA	NORMA MATERIAL	MATERIAL
LO CONSUMO							
	BOMBAS	ACEITE	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	ACEITE	SI	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	ACEITE	SI	NO	II	EN-10213-2	WCB
LO TRATAMIENTO							
	DEPURADORAS		SI	SI		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	ACEITE	SI	SI	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	ACEITE	SI	SI	II	EN-10213-2	WCB
REFRIGERACIÓN AGUA DULCE							
	TANQUES EXPANSIÓN	AGUA DULCE TRATADA	SI	SI (INTERIORMENTE)		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	INTERCAMBIADORES	AGUA DULCE TRATADA	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	BOMBAS	AGUA DULCE TRATADA	SI	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA DULCE TRATADA	SI	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUA DULCE TRATADA	SI	NO	III	EN-10213-2	WCB
REFRIGERACIÓN							
	INTERCAMBIADORES	AGUA SALADA	NO	NO			
	BOMBAS	AGUA SALADA	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN-12449	CW352H
	VÁLVULAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN1982	CC333G
LASTRE							
	BOMBAS	AGUA SALADA	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN-12449	CW352H
	VÁLVULAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN1982	CC333G
GENERADOR						SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
AGUA SALADA							
	BOMBAS	AGUA SALADA	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN-12449	CW352H
	VÁLVULAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN1982	CC333G
AGUA DULCE							
	BOMBAS	AGUA DULCE	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA DULCE	NO	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUA DULCE	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
AGUA DULCE							
	TANQUE	AGUA DULCE	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	BOMBAS	AGUA DULCE	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA DULCE	NO	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUA DULCE	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
AGUA POTABLE							
	SISTEMA DE TRATAMIENTO	AGUA POTABLE	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TANQUE	AGUA POTABLE	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	BOMBAS	AGUA POTABLE	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA POTABLE	NO	NO	III	ISO 9329-4	X2CrNiMo17-12
	VÁLVULAS	AGUA POTABLE	NO	NO	III	EN-10213-4	GX2CrNi19-11

CIRCUITO	SUB EQUIPOS	PRODUCTO	RECUBRIMIENTO MECÁNICO	PRODUCTO (EN CONTACTO CON EL RECUBRIMIENTO)	CLASE SEGÚN CLASIFICADORA	NORMA MATERIAL	MATERIAL
AGUA CALIENTE							
	CALENTADOR	AGUA DULCE	SI	SI		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	BOMBAS	AGUA DULCE	SI	SI		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUA DULCE	SI	SI	III	ISO 9329-4	X2CrNiMo17-12
	VÁLVULAS	AGUA DULCE	SI	SI	III	EN-10213-4	GX2CrNi19-11
INCINERADOR							
	TANQUES	LODOS HIDROCARBUROS	SI	SI		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	CALENTADOR	LODOS HIDROCARBUROS	SI	SI		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	BOMBAS	LODOS HIDROCARBUROS	SI	SI		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	LODOS HIDROCARBUROS	SI	SI	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	LODOS HIDROCARBUROS	SI	SI	III	EN-10213-2	WCB
SEPARADOR						SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TANQUE	AGUAS OLEAGINOSAS	NO	SI (INTERIORMENTE		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	BOMBAS	AGUAS OLEAGINOSAS	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUAS OLEAGINOSAS	NO	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUAS OLEAGINOSAS	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
UNIDAD			NO			SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	BOMBAS	AGUAS NEGRAS	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	TUBERÍAS	AGUAS NEGRAS	NO	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUAS NEGRAS	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
COMPRESOR		AIRE COMPRIMIDO	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
SECADORES		AIRE COMPRIMIDO	NO	NO		SUMINISTRADOR	SUMINISTRADOR
	DEPÓSITOS	AIRE COMPRIMIDO	NO	NO		ISO 9328-2 (2011).	P265-GH
	TUBERÍAS	AIRE COMPRIMIDO	NO	NO	II	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AIRE COMPRIMIDO	NO	NO	II	EN-10213-2	WCB
VENTILADORES							
	CONDUCTO	AIRE	NO	NO			316L
ESCAPE							
	CONDUCTO	GASES DE ESCAPE	SI	SI		EN10028	P235H
SISTEMA SECO CONTRAINCENDIOS							
	TUBERÍAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN 10216-1	P265TR2
	VÁLVULAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN-10213-2	WCB
SISTEMA HÚMEDO CI							
	TUBERÍAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN-12449	CW352H
	VÁLVULAS	AGUA SALADA	NO	NO	III	EN1982	CC333G
ESTRUCTURAS		AMBIENTE	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E
TRAMEX		AMBIENTE	NO	NO			
BANDEJAS REBOSE			NO				
	HIDROCARBUROS	HIDROCARBUROS	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E
	AGUA SALADA	AGUA SALADA	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E
SENTINAS		AGUA OLEAGINOSA	NO	NO		ACERO NAVAL	A, B, D, E

ANEXO 3

Tabla 10.5.

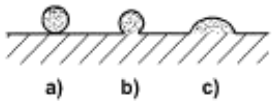
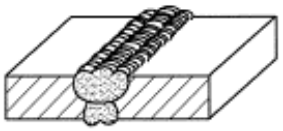
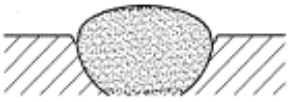
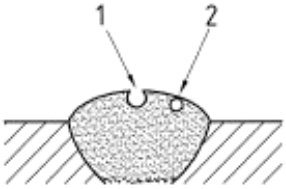
Relación entre grado oxidación inicial/grado preparación.

RELACIÓN GRADO INICIO DE SUPERFICIE-GRADO LIMPIEZA DE SUPERFICIE MEDIANTE PATRONES VISUALES ISO 8501-1	**Grado A:** Superficie cubierta completamente con calamina y ninguna o poca corrosión	**Grado B:** Superficie con inicio de corrosión y capa de laminación empezando a desprenderse.	**Grado C:** Superficie que la cascarilla de laminación se ha eliminado por la corrosión o puede ser eliminado por raspado, siempre que no presente ninguna picadura.	**Grado D:** Superficie de la que la cascarilla de laminación se ha eliminado por la corrosión y que tiene intensidad grave.
				
Grado St 2: Limpieza Mecánica – limpieza a fondo de cascarillas de laminación y otras impurezas mediante raspado, cepillado, lijado o de pulido. Después de la obligada superficie de brillo metálico luz.	No aplica			
Grado St 3: Limpieza Mecánica – limpieza a fondo de cascarillas de laminación y otras impurezas mediante raspado, cepillado, lijado o de pulido. Después la superficie debe mostrar brillo intenso metálico.	No aplica			
Grado Sa1: Limpieza por chorreado abrasivo - eliminar la calamina suelta y otras impurezas.	No aplica			
Grado Sa 2: Limpieza por chorreado abrasivo comercial -remover casi toda la cascarilla de laminación y las impurezas. Al menos el 65% de la superficie debe estar libre de residuos en el fondo de las cavidades.	No aplica			
Grado Sa 2½: Limpieza por chorreado abrasivo a metal casi blanco - elimina la cascarilla de laminación y las impurezas de manera que sus huellas aparecen sólo como manchas de luz en las superficies.				
Grado Sa 3: Limpieza por chorreado abrasivo a metal blanco -remover toda la cascarilla de laminación y las impurezas de manera que la superficie está completamente libre de residuos y presente una coloración uniforme.				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4

Table 1 — Imperfections and preparation grades

Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
1 Welds				
1.1 Welding spatter		Surface shall be free of all loose welding spatter [see a)]	Surface shall be free of all loose and lightly adhering welding spatter [see a) and b)] Welding spatter shown in c) may remain	Surface shall be free of all welding spatter
1.2 Weld ripple/profile		No preparation	Surface shall be dressed (e.g. by grinding) to remove irregular and sharp-edged profiles	Surface shall be fully dressed, i.e. smooth
1.3 Welding slag		Surface shall be free from welding slag	Surface shall be free from welding slag	Surface shall be free from welding slag
1.4 Undercut		No preparation	Surface shall be free from sharp or deep undercuts	Surface shall be free from undercuts
1.5 Weld porosity	 **Key** 1 visible 2 invisible (might open after abrasive blast cleaning)	No preparation	Surface pores shall be sufficiently open to allow penetration of paint, or dressed out	Surface shall be free from visible pores
1.6 End craters		No preparation	End craters shall be free from sharp edges	Surface shall be free from visible end craters

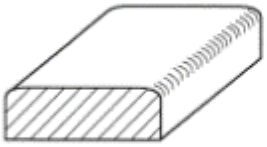
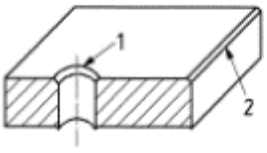
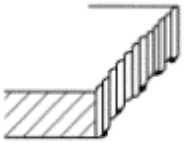
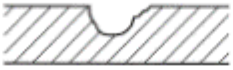
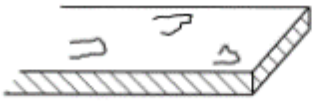
Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
2 Edges				
2.1 Rolled edges		No preparation	No preparation	Edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
2.2 Edges made by punching, shearing, sawing or drilling	 Key 1 punching 2 shearing	No part of the edge shall be sharp; the edge shall be free from fins	No part of the edge shall be sharp; the edge shall be free from fins	Edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
2.3 Thermally cut edges		Surface shall be free of slag and loose scale	No part of the edge shall have an irregular profile	Cut face shall be removed and edges shall be rounded with a radius of not less than 2 mm (see ISO 12944-3)
3 Surfaces generally				
3.1 Pits and craters		Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Pits and craters shall be sufficiently open to allow penetration of paint	Surface shall be free of pits and craters
3.2 Shelling NOTE In English-language usage, the terms "slivers" and "hackles" are also used to describe this type of imperfection.		Surface shall be free from lifted material	Surface shall be free from visible shelling	Surface shall be free from visible shelling
3.3 Roll overs/roll laminations/cut laminations		Surface shall be free from lifted material	Surface shall be free from visible roll-overs/ laminations	Surface shall be free from visible roll-overs/ laminations

Table 1 (*continued*)

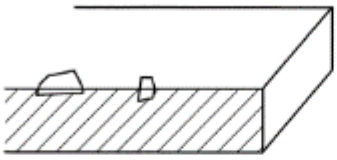
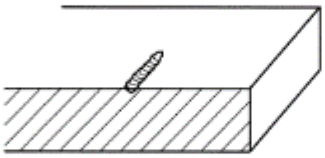
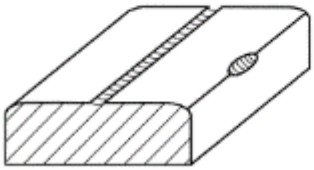
Type of imperfection		Preparation grades		
Description	Illustration	P1	P2	P3
3.4 Rolled-in extraneous matter		Surface shall be free from rolled-in extraneous matter	Surface shall be free from rolled-in extraneous matter	Surface shall be free from rolled-in extraneous matter
3.5 Grooves and gouges formed by mechanical action		No preparation	The radius of grooves and gouges shall be not less than 2 mm	Surface shall be free from grooves, and the radius of gouges shall be greater than 4 mm
3.6 Indentations and roll marks		No preparation	Indentations and roll marks shall be smooth	Surface shall be free from indentations and roll marks

Figura 10.1.: Tabla de imperfecciones según ISO 8501-3.

Fuente: Norma ISO 8501-3:2006

ANEXO 5

Tabla 10.6.

Tablas de procedimientos de pinturas.

Fuente: Elaboración propia

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-01 PROCEDIMIENTO 1
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
INMERSIÓN	-
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A5M.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Silicato de zinc
TIPO CAPA 1	Etil silicato de zinc
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	60
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos (tie coat)
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	60
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	60
TIPO CAPA 4	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	60
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	240
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	192 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	324
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-02 PROCEDIMIENTO 2-3
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
INMERSIÓN	-
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 400 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A4.16
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Silicato de zinc
TIPO CAPA 1	Etil silicato de zinc
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	-
TIPO CAPA 3	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	-
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	80
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	64 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	108
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-04 PROCEDIMIENTO 4
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	Lm2
INMERSIÓN	Agua
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A6.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Epoxi
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	125
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	125
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	330
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	264 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	445
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	20 Mpa

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-05 PROCEDIMIENTO 5
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	Lm2
INMERSIÓN	Agua
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A6.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Epoxi
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	125
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	125
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	330
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	264 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	445
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	20 MPa

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-06 PROCEDIMIENTO 6
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	Lm2
INMERSIÓN	Hidrocarburos
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A6.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Epoxi
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	125
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	125
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	330
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	264 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	445
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	20 MPa

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-07 PROCEDIMIENTO 7
SUSTRATO	ACERO AL CARBONO
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	Lm2
INMERSIÓN	Hidrocarburos
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 150 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A6.05
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	B
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	St 3
RUGOSIDAD	30-75 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	Epoxi
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	125
TIPO CAPA 3	Epoxi alto contenido solidos
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	125
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	330
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	264 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	445
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	20 MPa

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-08 PROCEDIMIENTO 8
SUSTRATO	ACERO GALVANIZADO CALIENTE
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
INMERSIÓN	-
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	A7.12
DURABILIDAD	Media
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	-
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	-
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	-
RUGOSIDAD	Según fabricante imprimación
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	-
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	80
TIPO CAPA 3	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	80
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	240
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	192 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	324
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	-

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-09 PROCEDIMIENTO 9
SUSTRATO	ACERO INOXIDABLE
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
INMERSIÓN	-
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	
DURABILIDAD	
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	-
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	-
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	-
RUGOSIDAD	Según fabricante imprimación
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	-
TIPO CAPA 1	Epoxi
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	80
TIPO CAPA 3	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	80
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	240
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	192 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	324
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	-

LOGO EMPRESA	PROCEDIMIENTO P-10 PROCEDIMIENTO 10
SUSTRATO	Cuni 90-10
CATEGORÍA CORROSIVIDAD	C5-M
INMERSIÓN	-
TEMPERATURA DE SERVICIO	Máx. 60 ºC
EQUIVALENTE ISO 12944-5	
DURABILIDAD	
PREPARACIÓN	
PREPARACIÓN SUPERFICIE SEGÚN ISO 8501-3	P3
GRADO MÁXIMO DE CORROSIÓN INICIAL SEGÚN ISO 8501-1	-
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL SEGÚN ISO 8501-1	Sa 2 1/2
GRADO LIMPIEZA SUPERFICIAL EN CAMPO SEGÚN ISO 8501-1	-
RUGOSIDAD	30 µm
APLICACIÓN	
TIPO DE IMPRIMACIÓN TALLER	-
TIPO CAPA 1	Poliuretano alifático
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 1 (µm)	80
TIPO CAPA 2	
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 2 (µm)	
TIPO CAPA 3	
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 3 (µm)	
TIPO CAPA 4	-
ESPESOR PELÍCULA SECA CAPA 4 (µm)	-
ESPESOR TOTAL NOMINAL CAPA PELÍCULA SECA (µm)	80
CRITERIOS ACEPTABILIDAD	
GRADO DE POLVO	Densidad 1 Tamaño 3-4-5
ESPESOR MÍNIMO (µm)	64 (menos del 10% de mediciones)
ESPESOR MÁXIMO (µm)	108
GRADO DE OXIDO	Ri=0
GRADO DE ESCAMAMIENTO	0
GRADO ROTURA	0
GRADO DE AMPOLLAMIENTO	0
DETECCIÓN DE DISCONTINUIDADES	0
PRESIÓN PRUEBA DE ADHESIÓN	-

AVISO:

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.”