INGENIERIA NAVAL

AÑO LVII - NUMERO 653
NOVIEMBRE 1989

REVISTA EDITADA POR LA ASOCIACION DE INGENIEROS NAVALES DE ESPAÑA

FUNDADOR:

† **Aureo Fernández Avila,** Ingeniero Naval.

DIRECTOR:

Guillermo Zatarain Gutiérrez de la Concha, Ingeniero Naval.

DIRECCION Y ADMINISTRACION

Domicilio: Castelló, 66.
28001-Madrid.

Teléfonos { 275 10 24
577 16 78

Télex: 43582 INAV-E.
Fax: 577 16 79

SUSCRIPCION ANUAL

España (incluido IVA)	**3.800**	**pesetas**
Ceuta, Melilla, Canarias y Portugal	**3.600**	»
Hispanoamérica	**5.300**	»
Resto del mundo	**6.200**	»
Precio del ejemplar	**500**	»

NOTAS

No se devuelven los originales. Los autores son directamente responsables de sus trabajos. Se permite la reproducción de nuestros artículos indicando su procedencia.

PUBLICACION MENSUAL

ISSN: 0020 - 1073

Depósito legal: M. 51-1958

MARIARSA, Impresores - Tomás Bretón, 51 - 28045-Madrid

INDICE DE MATERIAS

Págs.

Entrevista

Con el Presidente del Instituto de la Ingeniería de España, don Juan Alzugaray Aguirre 484

Artículos

Pinturas marinas para buques. Resultados de Investigaciones, por **M. Morcillo, J. Simancas, J. Antuñano y A. Monje** 488

Cuantificación del efecto de los cloruros en la durabilidad de estructuras metálicas y recubrimientos, por **S. Feliu** 493

Preparación de superficies. Influencia de la rugosidad en el esquema de pintado, por **Daniel Fernández Morán** 498

Antiincrustantes autopulimentantes. Conceptos y aspectos prácticos, por **Juan Guijarrubia González** 504

Epoxys para la protección del acero y del hormigón. 30 años de experiencia, por **J. Happe** 511

Recubrimientos para tanques, por el **Departamento Taukcoating de Pinturas International** 516

Las pinturas del silicato de zinc. Su importancia y su problemática, por **Daniel Fernández Morán** 518

Tráfico Marítimo

Reflexiones sobre política marítima y planes de viabilidad, por **Gerardo Polo** 525

Noticias

ASTILLEROS

Estadísticas de la O.C.D.E. 527

La construcción naval mundial en el segundo trimestre de 1989 527

Portada

Astilleros Españoles, S. A.

Con el Presidente del Instituto de la Ingeniería de España

JUAN JOSE ALZUGARAY AGUIRRE

Juan José Alzugaray Aguirre, nacido en Irún (Guipúzcoa) en 1924, Ingeniero Industrial, es hoy el Presidente del Instituto de la Ingeniería de España, el profesional que traemos a nuestro espacio «Entrevista», para conocer sus opiniones, sus trabajos, sus datos biográficos más sobresalientes y especialmente las actividades que realiza actualmente en el Instituto, un centro que reúne cerca de cuarenta mil ingenieros superiores de las diez especialidades existentes.

Nos recibe en la sede del Instituto de la Ingeniería de España, en la calle General Arrando, número 38, al filo del mediodía. Reina en la casa gran actividad con motivo, en esta ocasión, de unos encuentros de los muchos que los ingenieros de tal o cual especialidad celebran con frecuencia. Juan José Alzugaray Aguirre tiene un despacho ordenado, una mesa despejada de papeles que no faltan tampoco, pues tiene delante, a mano, sólo aquellos que contienen los datos precisos para el trabajo y la atención de cada momento.

En este momento, en esta entrevista, solicito datos históricos del Instituto, sus orígenes, para entrar en tema después sobre la profesión de ingeniero, concebida ésta en su más amplio sentido abierto a todas las especialidades, sobre el papel, que el ingeniero representa en la sociedad, sobre actividades y logros, proyectos, estudios, aspiraciones.

JUAN JOSE ALZUGARAY.—Nace en Irún (Guipúzcoa) el 19 de diciembre de 1924. Estudia Bachiller en los Institutos Nacionales de Irún y de San Sebastián (Matrícula de Honor en todos los Cursos).

Estudia la carrera de Ingeniero Industrial en Bilbao, promoción 1950. Alcanza el Doctorado en 1969.

Ejerce su vida profesional en la Empresa Altos Hornos de Vizcaya. Ocupa el cargo de director de la Fábrica de Baracaldo-Sestao en 1967. En 1972 pasa a desempeñar la Dirección de Ingeniería. Coordina el anteproyecto de la IV Planta Siderúrgica Integral de Sagunto de Altos Hornos del Mediterráneo (la mayor inversión industrial proyectada en España hasta esa fecha).

En enero de 1974 es trasladado a Madrid al cargo de Director de Planificación General del grupo de empresas de Altos Hornos con dependencia directa del Presidente.

Durante los años 1976-1978 es Consejero de la Unión de Empresas Siderúrgicas de España (UNESID). Consejero de la empresa minera Agruminsa y de las empresas químicas Sefanitro y Bilbaina de Maderas y Alquitranes, así como de Laminaciones de Lesaca. Representa a España como único delegado en el I y III Simposios Siderúrgicos de Naciones Unidas, celebrados en Praga y Brasilia en los años 1963 y 1973.

Forma parte del Comité de Tecnología del Instituto Internacional del Hierro y del Acero.

Es vocal de la Comisión de Industrias Metálicas Básicas del III y IV Planes españoles de Desarrollo.

En julio de 1978 es nombrado Consejero Delegado de la empresa constructora OBRASCON, perteneciente al grupo AHV, donde en 1980 es designado Administrador Único. (OBRASCON con ENTRECANALES construye en esas fechas el edificio del Banco de Bilbao en el polígono AZCA de Madrid.)

En 1985, tras 35 años de servicios, se jubila en el grupo de Altos Hornos.

Desde muy joven ocupó cargos de responsabilidad en organizaciones de la Ingeniería: Colegio de Ingenieros Industriales de Vizcaya; Asociación Nacional de Ingenieros Industriales; Consejo de Representantes del Instituto de la Ingeniería de España; Vicepresidente de su Comité de Energía en 1977; Presidente del Comité de Medio Ambiente desde 1978; Presidente de la Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España y miembro de la Junta Directora del Instituto de la Ingeniería a partir de 1984.

En abril de 1988 es elegido Presidente del Instituto de la Ingeniería de España.

Es socio de número del Capítulo Español del Club de Roma. Colaborador de la Comisión de Terminología de la Real Academia de Ciencias. Académico Correspondiente Extranjero, por España, de la Academia de Ciencias de Venezuela.

Es autor de numerosos artículos y de varios libros de investigación: «Voces extranjeras en el lenguaje tecnológico»; «Tecnología y Humanismo»; «Extranjerismos en el deporte»; «Extranjerismo en los espectáculos»; «Ingenieros y Arquitectos vascos del siglo XX en Madrid», entre otros.

—¿Cómo nace el Instituto?

—Las profesiones de Ingenieros se establecen a partir del siglo XVIII (Ingenieros de Minas). Al filo del comienzo del siglo XIX se instituyen los estudios de la carrera de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. En el siglo XIX aparecen también las carreras de Ingeniero de Montes, Ingeniero Industrial e Ingeniero Agrónomo. Se crean las organizaciones de la Ingeniería y surgen así las asociaciones de Ingenieros de Minas, Caminos y sucesivamente. En 1904 el Ingeniero Industrial Pablo Cáceres de la Torre, barón de Yecla tiene la feliz idea de integrar las cinco Asociaciones Nacionales de Ingenieros existentes en una institución común que se denomina Instituto de Ingenieros Civiles de España. Ya en este siglo XX se van integrando en el Instituto nuevas especialidades de la ingeniería según se van creando éstas: Aeronáuticos, Telecomunicaciones, Navales... Posteriormente se integran la Ingeniería Privada del ICAI y, últimamente, ya en el período de mi mandato, se integra igualmente la Asociación de Ingenieros de la Defensa. Hay que señalar que desde 1978 el Instituto de Ingenieros Civiles de España cambió su nombre por el actual Instituto de la Ingeniería de España, en donde estamos agrupados y representados cerca de cuarenta mil Ingenieros Superiores de las diez especialidades existentes.

—¿Qué labor desarrolla el Instituto de la Ingeniería de España?

—Es objetivo primordial del Instituto fomentar y contribuir al progreso de la Ingeniería poniéndola al servicio del desarrollo y el bien común de la sociedad española.

Otros objetivos prioritarios del Instituto consisten en: coordinar la acción de los distintos miembros del Instituto en aquellos campos en que sean más convenientes; ostentar la representación de la Ingeniería Española ante la Administración Pública y ante las instituciones, sin perjuicio de aquellas representaciones que pueden corresponder en sus respectivos ámbitos a los Colegios Profesionales de la Ingeniería en los términos consignados en las leyes; representar al conjunto de la Ingeniería española ante organizaciones análogas de la Ingeniería internacional; y elevar el prestigio de la Ingeniería en general.

Para conseguir estos fines, el Instituto desarrolla una serie de actividades tales como: informar y dictaminar sobre los asuntos que se le sometan por la Administración y otras corporaciones; emitir, por iniciativa propia, las recomendaciones que se consideren convenientes sobre cualquier asunto que desde el punto de vista de la ingeniería resulte de interés para la sociedad; gestionar del Gobierno y otras entidades cuantas disposiciones y medidas convengan al mejor desarrollo y eficacia de la ingeniería; organizar y participar en congresos, conferencias, seminarios, jornadas técnicas, mesas redondas, coloquios y otras manifestaciones que fomenten el progreso mediante el intercambio de conocimientos científicos y técnicos, e incluso, de ideas sociales, económicas y morales en relación con la ingeniería; y editar publicaciones relacionadas con sus fines y actividades.

AGUSTIN DE BETANCOURT CREO EN ESPAÑA LA CARRERA DE INGENIERO DE CAMINOS Y EN RUSIA LA DE INGENIERO DE VIAS DE COMUNICACION.

EXISTE YA UN CONVENIO DE COOPERACION CON EL INSTITUTO DE INGENIEROS TECNICOS DE ESPAÑA.

LA CREACION DE LA REAL ACADEMIA DE LA INGENIERIA EN TRAMITE.

LA ADMINISTRACION CONSULTA EN OCASIONES AL INSTITUTO DIVERSOS ASPECTOS TANTO EN MATERIA TECNOLOGICA COMO EN OTROS CAMPOS, ENTRE ELLOS LA ENSEÑANZA.

DIEZ ASOCIACIONES NACIONALES Y DIECIOCHO COMITES

—En estos momentos, ¿qué se está haciendo en el Instituto; cuáles son los temas sobre los que se trabaja con mayor atención y cómo se llevan a cabo estos trabajos?

—Para desarrollar estas actividades que mencionaba y enumeraba, tendentes a conseguir los fines y objetivos antes descritos, el Instituto se apoya en diez Asociaciones Nacionales y dieciocho Comités.

Se está procurando incrementar, de manera notoria, la celebración de jornadas técnicas, conferencias, mesas redondas, coloquios sobre cuestiones tecnológicas. No hace mucho, se firmó en Moscú, en mayo de 1988, un acuerdo de Cooperación técnica con el Consejo de Sociedades

Científicas y Técnicas de la URSS. El presidente de la Federación Mundial de Organizaciones de Ingenieros, señor Ishlinsky, asistió en Madrid, en mayo de este año, al acto organizado por el Instituto en memoria del egregio ingeniero español Agustín de Betancourt que creó en España la carrera de Ingeniero de Caminos y en Rusia la carrera de Ingeniero de Vías de Comunicación.

Se ha alcanzado un convenio de cooperación con el Instituto de Ingeniería Técnica de España, con lo que se ha empezado a realizar cosas conjuntamente, lo cual es muy satisfactorio.

—Hago un inciso en el proceso de información sobre realizaciones y trabajos que se llevan a cabo, para preguntar sobre este punto que traía en el bloc de notas: ¿se puede hablar en este punto de un fin de incomprensiones o de una finalización de malos entendidos?

—Es un proceso muy delicado que requiere un obligado período de maduración en ambos estamentos: Ingenieros superiores e Ingenieros técnicos. Noy hay que olvidar que han sido décadas repletas de animadversión y duros enfrentamientos. La consecución del nombre de ingeniero en las titulaciones de los antiguos estudios de peritaje y ayudantía, la nueva Ley de Atribuciones, y otros contenciosos por el estilo, han sembrado de minas peligrosas el terreno movedizo de las relaciones de unos y otros, y por ello resulta difícil caminar con sentido constructivo por ese atolladero. Los tiempos, sin embargo, empujan a un entendimiento basado en el debido respeto a la categoría de los estudios de unos y otros. Está claro que es preciso conocerse mejor, convivir más, superar malquerencias de tantos años. Y en ello andamos.

ILUSTRES INGENIEROS, SOCIOS DE HONOR

—Seguimos con el desarrollo de actividades prioritarias del Instituto de la Ingeniería de España. Nuestro entrevistado nos apunta:

—Destacan también entre las realizaciones últimas el nombramiento de Socios de Honor a ilustres ingenieros como Luis de Azcárraga, José María de Areilza, Leopoldo Calvo-Sotelo, Gregorio López Bravo y Manuel García Gil de Bernabé.

Uno de mis objetivos más queridos es la creación de la Real Academia de Ingeniería. Se ha creado un Comité promotor que ha redactado unos Estatutos. El día 10 de mayo de 1989 el Instituto solicitó al Ministerio de Educación y Ciencia la creación de esta Real Academia de Ingeniería. El asunto, por tanto, se encuentra en estos momentos en situación de trámite.

—¿Qué papel desempeña el Instituto en la adaptación de los planes de estudios ingenieriles?

—El Instituto es una corporación de derecho privado y es normal, por tanto, que no exista vínculo institucional alguno con la Administración, pero dicho esto, lo cierto es que la Administración consulta en ocasiones diversos aspectos tanto en materia tecnológica como en otros campos, entre ellos el de la enseñanza.

EN LA INGENIERIA ESPAÑOLA HAY ACTUALMENTE UN PLENO EMPLEO SALVO EN ALGUNOS SECTORES BASICOS MAS AFECTADOS POR LA CRISIS.

... SE PRODUCIRA, QUIZA, UNA EXPORTACION LIMITADA DE INGENIEROS EUROPEOS HACIA ESPAÑA...

... PERO LOS INGENIEROS ESPAÑOLES BIEN PREPARADOS NO HAN DE TEMER NADA, PUES RESISTEN, EN GENERAL, MUY BIEN LA COMPARACION CON SUS HOMOLOGOS EUROPEOS.

2.500 NUEVOS INGENIEROS SALEN ANUALMENTE DE SUS ESCUELAS TECNICAS, DIEZ VECES MAS QUE EN 1950.

EN JUNIO DE 1991 SE CELEBRARA EN MADRID EL III CONGRESO NACIONAL DE LA INGENIERIA.

—¿Cómo ve al ingeniero español?; el futuro de la ingeniería española, ¿cómo se presenta?

—En la ingeniería española hay actualmente un pleno empleo salvo en algunos sectores básicos más afectados por la crisis, lo que contrasta con el elevado índice general de paro en el país. El futuro tampoco asusta porque el ingeniero español compite sin desdoro en el estranjero y en el futuro seguirá compitiendo porque su altura y su preparación es muy similar a la de los ingenieros de otros países de Europa con los que, evidentemente, vamos a entrar en unas relaciones y en una competitividad cada vez más acentuada. Lo que ocurre es que determinados países poseen unas tecnologías más avanzadas que las nuestras, y los ingenieros de esos países, expertos en ellas, nos pueden enseñar mucho. También sucede el fenómeno inverso respecto a los países iberoamericanos, africanos y del Tercer Mundo, donde nuestros ingenieros pueden aportar ventajosamente sus saberes y conocimientos.

—De cara al año 1993, ¿ve en la CEE algún problema digno de destacarse?

—Los ingenieros europeos habrán de atenerse a la directiva general profesional aprobada a fines de 1988. Para su aplicación en cada Estado, habrá un Decreto regulador, que aún no ha salido. Mientras tanto, se puede vaticinar lo que va a ocurrir. En mi opinión, se producirá, quizá una exportación limitada de ingenieros europeos hacia España, a través de empresas multinacionales, cada vez más presentes en la economía de nuestro país. Pero los ingenieros españoles bien preparados no han de temer nada, pues resisten, en general, muy bien la comparación con sus homólogos europeos. E incluso, los mejores dotados, se asomarán también profesionalmente a Europa, y no será extraño verles ejercer su profesión en lugares de tanto arraigo industrial como Charleroi, Ijmuiden, Metz o Leverkusen.

CONTINUARA EL DESARROLLO TECNOLOGICO

El futuro, en resumen, no asusta. El desarrollo tecnológico va a continuar irreversiblemente, y en ese desarrollo, tiene mucho que decir y que hacer el ingeniero español. La ingeniería española asume con naturalidad su misión rectora de abanderada de la innovación tecnológica. Es esta una tarea que le corrresponde y lo hace gustosamente, sabedora de su responsabilidad. Multiplica sus esfuerzos para dotar a la sociedad de los ingenieros que necesita y en

las especialidades que el mercado tecnológico demanda. Nada menos que 2.500 nuevos ingenieros salen anualmente de sus Escuelas Técnicas Superiores, decuplicando la cifra del año 1950. Como puede apreciarse, el esfuerzo ha sido enorme.

RELACIONES INTERNACIONALES

—Volvamos al Instituto y su funcionamiento, ¿qué relaciones tiene el IIE con organismos internacionales?

—Las que corresponden a un país de nuestras características y con un potencial de 50.000 Ingenieros superiores. En la Federación Europea de Asociaciones Nacionales de Ingenieros, se participa a través de un Comité Nacional, en el que están integrados también los Ingenieros técnicos. El presidente de la Asociación de Ingenieross de Caminos, Vicente García Alvarez, ocupa una de las vicepresidencias de FEANI. Otro ingeniero español, José María Coronado, ocupó varios años la presidencia.

En la Federación Mundial de Organizaciones de Ingenieros, máximo organismo de los ingenieros, Jaime Lamo de Espinosa, ingeniero agrónomo español, desempeña la presidencia de su Comité de Ingeniería Alimentaria. Existe también participación activa en los Comités de Medio Ambiente y Energía. Y en ocasiones el Instituto de la Ingeniería de España ha tenido plaza en el Comité Ejecutivo de FMOI, como ocurre en la actualidad. En cuanto a la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros, el IIE es miembro activo y acude generalmente a las reuniones de su Directorio y a las Asambleas Generales. Precisamente puedo informar que el Directorio de UPADI celebrará su reunión de 1991 en nuestro país, lo que constituye una evidente muestra de confianza.

SOLO DOS CONGRESOS EN CASI UN SIGLO

—El año 1991 va a ser noticia sonada en el Instituto, porque, según mis noticias, ese año en el mes de junio, para más señas, se prevé tenga lugar el III Congreso Nacional de la Ingeniería. ¿Cómo va la organización de ese acontecimiento?

—Entre los objetivos de mi programa presidencial figura la celebración del III Congreso Nacional de la Ingeniería, efectivamente para celebrarse en junio de 1991. Hay que tener en cuenta que a lo largo de la historia del Instituto, próxima ya al siglo, se han celebrado solamente dos Congresos, en 1919 y 1950.

Entiendo que el momento es propicio para la celebración de un III Congreso, máxime con los avances tecnológicos experimentados en estos últimos cuarenta años.

Para llevar a cabo esta idea se ha creado un Comité, patrocinado por la Asociación de Ingenieros Navales y presidido por el Ingeniero Naval y anterior presidente del Instituto Manuel García Gil de Bernabé.

Este Comité ha iniciado con fuerza sus actividades, ha definido los temas principales que han de tratarse en el Congreso, ha elegido la fecha y el lugar en que van a tener lugar las celebraciones: el Palacio de Congresos y Exposiciones de Madrid.

—¿Cuáles son los temas que van a llevarse a este Congreso?

—Es interesante el temario que puede centrarse en los siguientes títulos: «Ingeniería, ciencia y tecnología»; «Ingeniería, desarrollo y naturaleza» e «Ingeniería, economía y sociedad». Incluye también unas ponencias especiales propuestas por cada una de las especialidades de la Ingeniería.

FE DE ERRATAS

En el número especial de octubre, en la página 442 de la tabla 3.4;

Dice: Tráfico marítimo 1981-1988 (en millones de tpm)

Debe decir: **Volumen de la flota mundial 1981-1988 (en millones de tpm)**

PINTURAS MARINAS PARA BUQUES. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES (*)

Por M. Morcillo (**), J. Simancas (**), J. Antuñano (***) y A. Monje (****)

ABSTRACT

Unfortunately, premature failures in marine paint systems is a frequent problem in the shipping industry.

In the research different stages involved in the ship's construction are simulated.

The more significant variables in the anticorrosive behaviour of marine paint systems were the following: a) salt contamination at the steel/paint interfase; b) unproperly cleaning of weathered shop-primer, and c) high levels of cathodic protection.

INTRODUCCION

Es opinión generalizada que la inmensa mayoría de los fallos prematuros de los recubrimientos de pintura surgen al no haberse puesto en práctica ciertos requisitos básicos relativos a la preparación de superficie del sustrato metálico sobre el que se va a aplicar posteriormente el esquema de pintura, métodos y condiciones de aplicación de la pintura e inadecuada integración de los trabajos de pintado en la planificación general de la construcción del buque.

Hoy en día, en el pintado en construcción naval se diferencian dos etapas en la preparación de superficies:

a) *La primaria.*—Relativa a la limpieza de las chapas de acero (desnudas) que han estado expuestas durante cierto tiempo a la atmósfera, en los parques de material del astillero. Los diferentes grados de limpieza de estas superficies vienen señalados en la norma sueca SIS 055900-1967.

b) *La secundaria.*—Relativa a la limpieza de las chapas de acero recubiertas con el "shop-primer" y que sufren distinto tipo de agresiones (quemaduras, soldadura, acción de la atmósfera salina, etcétera) durante el período de construcción del buque. Los diferentes grados de limpieza de estas superficies vienen señalados en la norma japonesa JSRA (SPSS)-1975.

En esta investigación se han tratado de simular las distintas etapas por las que pasan las chapas de acero procedentes de los trenes de laminación en caliente de la acería, y que al llegar al astillero quedan sometidas al proceso de construcción del buque para, durante la vida en servicio de éste, estar integrando el casco en sus distintas zonas de exposición: fondos, flotación y obra muerta.

En el estudio se analizan en profundidad los efectos de diversas variables, agrupadas del siguiente modo:

	Variable
PREPARACION PRIMARIA DE SUPERFICIE	Grado de chorreado
	Contaminación salina
PREPARACION SECUNDARIA DE SUPERFICIE	Envejecimiento del "shop-primer"
	Limpieza del "shop-primer" envejecido
CONDICIONES DE APLICACION DEL ESQUEMA DE PINTURA	Presencia de humedad sobre la superficie a pintar
	Tiempo de repintado
	Vida de la mezcla (pinturas de dos componentes)

DISEÑO EXPERIMENTAL

Las probetas, de dimensiones 125×250 mm., se prepararon a partir de chapas de acero suave laminado en caliente de 3 mm. de espesor.

Una serie de probetas estuvo expuesta durante, aproximadamente, tres meses en una atmósfera rural exenta de contaminantes atmosféricos del tipo SO_2 o cloruros.

En la Tabla 1 se expone el plan experimental general en el que se detallan las variables del estudio, así como los niveles de actuación de cada una de ellas.

(*) Trabajo presentado en el 7.° Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones, celebrado el 7 de noviembre de 1988 en la Universidad Politécnica de Valencia.

(**) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid.

(***) Astilleros Españoles, S. A. Factoría de Sestao.

(****) Astilleros Españoles, S. A. Factoría de Puerto Real.

TABLA 1.—**Plan experimental general**

Preparación primaria de superficie		Shop-Primer (SP)	Preparación secundaria de superficie		Condiciones de aplicación		
Grado de limpieza	Contaminación salina		Envejecimiento del Shop-Primer	Tipo de limpieza	Presencia de humedad (C.M.)	Tiempo de repintado (T.R.)	Vida de la mezcla (V.M.)
ASa 3 (1) ASa 2 1/2 (2) ASa 2 (3) BSa 2 1/2 (4) BSa 2 (5)	Sin contaminación (0) NaCl 5 mg/m² (1) 10 mg/m² (2) 25 mg/m² (3) 100 mg/m² (4) $FeSO_4$ 500 mg/m² (5) 1.000 mg/m² (6) 2.500 mg/m² (7)	Sin shop-primer (6) Expoxi-óxido de hierro (1) Expoxi-cinc (2)	(1): Presencia de zonas quemadas + exposición a la niebla salina (2): Exposción a la niebla salina	Lavado con agua (1) Cepillado manual (2) Chorreado ligero (3)	Sí (2) No (1)	El especificado por el fabricante (1). La mitad del tiempo mínimo (2). 15 días (3).	30 min. (1) 24 h. (2)

Los números entre paréntesis indican la clave utilizada para la confección de las figuras 2 a 4.

Grado de chorreado.—Los diferentes grados de limpieza se obtuvieron por chorreado centrífugo con granalla esférica del tipo S-280, variando el tiempo de tratamiento. La rugosidad final obtenida fue intermedia entre Sh 3 y Sh 4 (Keane-Tator, Surface Profile Comparator).

Contaminación salina.—Los distintos niveles de contaminación se obtuvieron aplicando cantidades variables de soluciones en agua y metanol de NaCl y $FeSO_4$. 7 H_2O, con la ayuda de una varilla de vidrio. Posteriormente las probetas se introducían durante un cierto tiempo en una estufa de laboratorio, a 40-50° C, para evitar al máximo la formación de herrumbre.

Envejecimiento del "shop-primer".—En la investigación se consideran dos tipos de "shop-primer": a) del tipo epoxi-óxido de hierro, y b) del tipo epoxi-cinc, de uso común en construcción naval. A fines de comparación de resultados a una serie de probetas no les fue aplicado "shop-primer". El espesor medio de película seca de ambas imprimaciones fue de 30-40 μm, aproximadamente.

Para simular la condición FO de las normas japonesas SPSS del JSRA, las superficies, una vez imprimadas, fueron sometidas a un proceso de quemado con la ayuda de un soplete de soldadura oxi-acetilénica. Las probetas se mantenían durante cierto tiempo (~ 10 segundos) a la acción de la llama y se retiraban cuando el metal alcanzaba la temperatura de 350° C, momento en que se producía el cambio de color en las marcas realizadas sobre las probetas con un lápiz Themochrom de la marca Faber-Castell.

Al ensayo de envejecimiento en cámara de niebla salina se sometieron posteriormente las series de probetas imprimadas que habrían sufrido el proceso de quemado, juntamente con otras series de probetas donde la imprimación se presentaba intacta. Las probetas se retiraron de la cámara a las 300 horas de ensayo, tiempo que coincidía, aproximadamente, con el grado 7 de oxidación (ASTM D610) en las probetas imprimadas con el "shop-primer" del tipo epoxi-óxido de hierro.

Limpieza del "shop-primer" envejecido.—Se consideraron tres grados de limpieza en las probetas imprimadas y envejecidas: a) lavado con agua y cepillo de cerdas de nylon; b) lavado y cepillado mecánico Pt 2 (SSPS, JSRA), y c) chorreado muy ligero S_s (SSPC, JSRA).

Presencia de humedad sobre la superficie a pintar (C.M.).—En una serie de probetas las pinturas se aplicaron en las condiciones normales de laboratorio, en tanto que en otra la superficie de la probeta presentaba una ligera capa de humedad, anterior a la aplicación de la primera capa de pintura del esquema. La presencia de esta capa acuosa se realizó pasando por la superficie de la probeta una esponja, algo humedecida, inmediatamente antes de la aplicación del recubrimiento de pintura.

Tiempo de repintado (T.R.).—La aplicación de la segunda capa del esquema de pintura se realizó según las siguientes instrucciones:

— T.R. 1: el especificado por el fabricante de pintura.

— T.R. 2: la mitad del tiempo mínimo.

— T.R. 3: 15 días.

Posteriores capas del esquema se aplicaron siguiendo las instrucciones dictadas por el fabricante de la pintura en cuestión.

Vida de la mezcla (V.M.).—Tratándose de pinturas de dos componentes, se han preparado series de probetas de acuerdo con los siguientes niveles de actuación de esta variable.

— V.M. 1: 1/2 hora después de haber realizado la mezcla.

— V.M. 2: 24 horas después de haber realizado la mezcla.

En la Tabla 2 se exponen los sistemas de pintura aplicados en función de las condiciones de exposición a que iban a estar sometidas las probetas de ensayo en las balsas de experimentación. En la figura 1 se ofrece una vista panorámica de la balsa de ensayos. Los ensayos se llevaron a cabo en El Abra (Vizcaya) y Puerto Real (Cádiz).

Teniendo en cuenta el elevado número de variables que comprende esta investigación, un estudio sistemático que incluyera todas las variables, así como todos los niveles de actuación de cada una de ellas hubiese supuesto preparar un número excesivo de probetas, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio de la balsa experimental. Por ello, el diseño experimental que se ha realizado ha consistido en el estudio por separado de cada una de las variables mencionadas, a base de bloques de ensayos, haciendo intervenir en cada bloque a aquellas otras variables más relacionadas con la variable objeto de estudio. Lo mencionado queda ilustrado en

TABLA 2.—**Características de los sistemas de pintura aplicados**

Tipo de exposición	Sistema de pintura		Espesor total (μm)
	Clave (*)	Tipo genérico	
Inmersión total	1	Clorocaucho pigmentado con aluminio (Fabricante 1)	150
	2	Clorocaucho sin pigmentar con aluminio (Fabricante 1)	100
	3	Clorocaucho pigmentado con aluminio (Fabricante 2)	120
	4	Clorocaucho sin pigmentar con aluminio (Fabricante 1)	120
	5	Alquitrán-epoxi	125
	6	Alquitrán-vinílico	160
Inmersión parcial	7	Clorocaucho pigmentado con aluminio	120
	8	Clorocaucho sin pigmentar con aluminio	140
	9	Epoxi puro	100
Atmosférica	10	Alcídico	115
	11	Clorocaucho sin pigmentar con aluminio	125
	12	Clorocaucho sin pigmentar con aluminio/acabado acrílico	110
	13	Vinílica/alcídica	100

(*) Clave utilizada para la confección de las figuras 2 a 4.

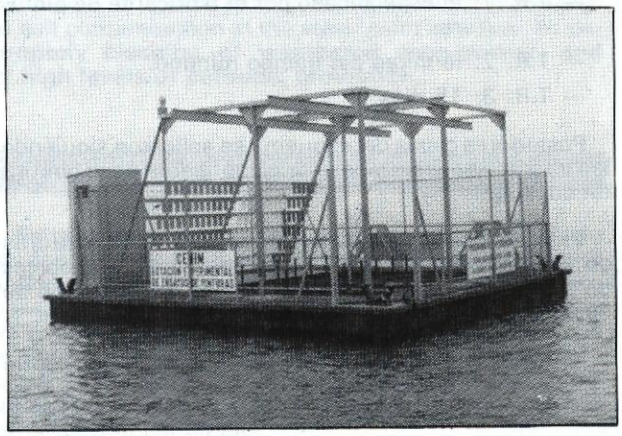


Fig. 1.—Vista de la balsa experimental para ensayos de pinturas en agua de mar.

las figuras 2 a 4 a base de círculos (blancos y negros) y cruces.

Los círculos señalan las variables que son objeto de estudio en cada bloque de ensayos, así como los niveles de actuación de cada variable, en tanto que las cruces indican las condiciones comunes para las restantes variables que no son objeto de estudio en ese bloque experimental.

Resultados

Periódicamente se realizaron inspecciones del estado que presentaban las probetas de ensayo. En las inspecciones se anotaba el grado de oxidación de la superficie pintada y el grado de ampollamiento del recubrimiento de pintura.

En las probetas expuestas a la acción de la atmósfera marina (figura 4) el deterioro se manifiesta principalmente por la aparición de puntos de óxido en la superficie de la pintura. La valoración del grado de oxidación se realizó de acuerdo con la norma ASTM D-610, en la que "10" significa ausencia de puntos de oxidación y "0" que la superficie aparece completamente oxidada. En este artículo únicamente reseñamos que un sistema de pintura empieza a fallar (círculo negro) cuando el grado de oxidación alcanza un valor de 8 o valores inferiores.

En las probetas expuestas en inmersión parcial o permanente (figuras 3 y 2) el deterioro se manifiesta principalmente por la aparición de ampollas en la superficie de la pintura. La valoración del grado de ampollamiento se ha realizado de acuerdo con la norma ASTM D-714 con la que se evalúan la frecuencia de aparición y tamaño de las ampollas. En este artículo únicamente reseñamos que un sistema de pintura empieza a fallar (círculo negro) cuando la frecuencia de aparición es del tipo M (medio), MD (medio-densa) o D (denso).

Tampoco se considera fallo de un sistema de pintura cuando el deterioro se localiza únicamente en los bordes de la probeta de ensayo, ni cuando el ampollamiento corresponde a la película de pintura antiincrustante, que se aplicó de modo idéntico a todas las probetas expuestas en inmersión para impedir la incrustanción biológica, pero no para su estudio en sí.

Los resultados que exponemos en esta comunicación (figura 2 a 4) corresponden a un tiempo de experimentación de cuatro años en las condiciones descritas, reflejándose únicamente las tendencias observadas y sin profundizar mediante un análisis más riguroso de la graduación de efectos en las distintas variables estudiadas.

EXPOSICION : INMERSION PERMANENTE

TIPO DE PINTURA	EFECTO	LIMPIEZA PRIMARIA													SHOP PRIMER (SP)			LIMP. SECUND.					CONDICIONES APLICACION						
		GRADO DE CHORREADO					CONTAMINACION SALINA											ENVEJ. SP		LIMPIEZA SP			C.M.		T.R.			V.M.	
		1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2
1	G. Chorreado	○	○	○	●	○	x								○	●	○						x		x				
	Cont. salina	○				●	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○	●	●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicac		○		○		x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	
2	G. Chorreado	●	●	●	●	●	x								●	●	○						x		x				
	Cont. salina	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●								x		x				
	" "	○				●	○	○	○	●	●	○	○	●		●							x		x				
	" "	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○			○						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	●	●	●	●	●	●	x		x				
	Cond. aplicac		●		●		x								●	●	●						●	●	●	●	●	●	
3	G. chorreado	○	○	●	○	●	x								●	○	○						x		x				
	Cont. salina	○				●	○	○	○	○	●	○	●	●	●	●	○						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○		●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicac		●		●		x								●	●	○						●	●	●	●	●	●	
4	G. chorreado	●	●	●	●	●	x								●	●	●						x		x				
	Cont. salina	○				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	●		●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicac		●		●		x								●	●	●						●	●	●	●	●	●	
5	G. chorreado	●	●	●	●	●	x								●	●	●						x		x				
	Cont. salina	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	●	●	●	●	●	●	x		x				
	Cond. aplicac		●		●		x								●	●	●						●	●	●	●	●	●	●
6	G. chorreado	○	○	○	○	○	x								○	○	○						x		x				
	Cont. salina	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○	●	●	●	●	●	x		x				
	Cond. aplicac		○		○		x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	

○ SIN EFECTO ● EFECTO NEGATIVO x CONDICION COMUN EN EL ESTUDIO DEL EFECTO INDICADO

Fig. 2.—Resumen de los resultados experimentales correspondientes a los sistemas de pintura expuestos a inmersión permanente en agua de mar.

EXPOSICION : INMERSION PARCIAL

TIPO DE PINTURA	EFECTO	LIMPIEZA PRIMARIA													SHOP PRIMER (SP)			LIMP. SECUND.					CONDICIONES APLICACION						
		GRADO DE CHORREADO					CONTAMINACION SALINA											ENVEJ. SP		LIMPIEZA SP			C.M.		T.R.			V.M.	
		1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2
7	G. chorreado	○	○	○	○	○	x								○	○	○						x		x				
	Cont. salina	x					○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○		●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	●	○						○	●	●	○	○	●	
8	G. chorreado	○	○	○	○	○	x								○	○	○						x		x				
	Cond. salina	x					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						x		x				
	Limpieza SP	x					x									○	○		○	○	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	
9	Cont. salina	x					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	●	●		●	●	●	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								●	●	●						●	●	●	●	●	●	●

○ SIN EFECTO ● EFECTO NEGATIVO x CONDICION COMUN EN EL ESTUDIO DEL EFECTO INDICADO

Fig. 3.—Resumen de los resultados experimentales correspondientes a los sistemas de pintura expuestos a inmersión parcial en agua de mar.

EXPOSICION : ATMOSFERICA

TIPO DE PINTURA	EFECTO	LIMPIEZA PRIMARIA													SHOP PRIMER (SP)			LIMP. SECUND.					CONDICIONES APLICACION						
		GRADO DE CHORREADO					CONTAMINACION SALINA											ENVEJ. SP		LIMPIEZA SP			C.M.		T.R.			V.M.	
		1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2
10	Cont. salina	x					○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○	●	○	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	○	●						○	●	●	○	○	●	
11	G. chorreado	○	○	○	○	○	x								○	○	○						x		x				
	Cont. salina	x					○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○		●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	
12	Cont. salina	x					○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○		●	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	
13	G. chorreado	○	○	○	○	○	x								○	○	○						x		x				
	Cont. salina	x					○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●						x		x				
	Limpieza SP	x					x									●	○	●	○	●	○	○	x		x				
	Cond. aplicación		x				x								○	○	○						○	○	○	○	○	○	

○ SIN EFECTO

● EFECTO NEGATIVO

x CONDICION COMUN EN EL ESTUDIO DEL EFECTO INDICADO

Fig. 4.—Resumen de los resultados experimentales correspondientes a los sistemas de pintura expuestos a la atmósfera marina.

DISCUSION

Abordaremos la discusión de los resultados experimentales obtenidos en función de cada tipo de exposición y de las variables objeto de estudio.

EXPOSICION ATMOSFERICA (fig. 4)

Grado de chorreado.—Si bien este efecto únicamente se estudió en dos sistemas (11 y 13), no se observa ningún efecto negativo en los niveles de actuación considerados para esta variable.

Contaminación salina.—Con relación a la contaminación por NaCl únicamente en el caso del sistema 10, y siempre y cuando no se aplique "shop-primer" antes del esquema, se observa un efecto negativo por la presencia del contaminante NaCl a su nivel superior (100 mg/m²). Respecto al contaminante $FeSO_4$ todos los sistemas ensayados se muestran sensibles a la presencia de este contaminante en la intercara metal/pintura, particularmente a concentraciones superiores a 500 mg/m², independientemente de la aplicación o no del "shop-primer".

Limpieza secundaria del "shop-primer" envejecido.—En todos los sistemas la limpieza del "shop-primer" del tipo epoxi-óxido de hierro, envejecido, únicamete mediante agua y cepillo de cerdas de nylon, se presenta insuficiente. El "shop-primer" epoxi-cinc parece, en cambio, tolerar este tipo de agresiones.

Condiciones de aplicación.—Todos los sistemas toleran las desviaciones ensayadas con relación a la buena práctica durante la aplicación de los recubrimientos de pintura.

INMERSION PARCIAL (fig. 3)

En la figura 3 se observa que el sistema 9 muestra siempre deterioros, con independencia de la variable en estudio, lo que nos hace pensar que es el propio esquema de pintura, al espesor considerado, el que no resiste las condiciones de exposición.

Grado de chorreado.—No se observa en los dos sistemas (7 y 8) donde se llevó a cabo el estudio de esta variable ningún efecto negativo en los niveles de actuación cosiderados.

Contaminación salina.—El sistema 7 muestra sensibilidad a la presencia de los contaminantes NaCl o $FeSO_4$ en la intercara metal/pintura, independientemente del "shop-primer" aplicado, en tanto que el sistema 8 se muestra insensible a esta variable.

Limpieza secundaria del "shop-primer" envejecido.—La limpieza con agua del "shop-primer" epoxi-óxido de hierro envejecido por la acción de la niebla salina se presenta como insuficiente en el caso del sistema 7, mientras que el "shop-primer" de epoxi-cinc tolera este tipo de agresión.

El sistema 8, en cambio, tolera el citado envejecimiento independientemente del "shop-primer" aplicado.

Condiciones de aplicación.—Los sistemas 7 y 8 toleran las desviaciones ensayadas con relación a la buena práctica durante la aplicación de los recubrimientos de pintura.

INMERSION PERMANENTE (fig. 2)

En la figura 2 se observa que el sistema 5 muestra fallos con independencia de la variable en estudio, lo que nos hace pensar que es el propio esquema de pintura el que no resiste las condiciones de exposición.

(Pasa a la pág. 510.)

CUANTIFICACION DEL EFECTO DE LOS CLORUROS EN LA DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS METALICAS Y RECUBRIMIENTOS (*)

Por S. Feliu (**)

ABSTRACT

It is important to quantify the effect of chlorides on the degradation of structures, with a view to lifetime predictions. In this respect, the effect of the said contaminant on the atmospheric corrosion of bare metals and on the service life of protective paint coatings is taken into account. Likewise, reference is made to on side determination of corrosion rate of steel reinforcements embedded in salt-contaminated concrete.

INTRODUCCION

Desde el punto de vista de la corrosión y del deterioro de los materiales, los cloruros provenientes del mar pueden ejercer las más temibles acciones en las estructuras metálicas expuestas a ambientes marinos. Respecto a este tema existe abundante información en la bibliografía, la cual es más bien de tipo cualitativo. Sería preciso cuantificar el efecto de los cloruros con el fin de hacer predicciones de durabilidad y para la planificación de las operaciones de mantenimiento de las estructuras. Interesa conocer hasta qué punto determinados niveles de cloruros acortan la vida útil de las instalaciones.

Ejemplos de relaciones cuantitativas de enorme trascendencia técnica y fuerte atractivo científico son:

a) la relación entre concentración de cloruros en la atmósfera, o en un medio acuoso, y la probabilidad de aparición de picaduras en la superficie del aluminio, acero inoxidable, etcétera;

b) el establecimiento de la concentración mínima de cloruros capaz de generar grietas por corrosión bajo tensión en el acero inoxidable frente a distintos medios;

c) el efecto de la cantidad de cloruros en la atmósfera en el comportamiento de los recubrimientos protectores, tales como películas anódicas de óxido sobre el aluminio, o películas de pintura sobre el acero;

d) la relación entre contenido de cloruros en la atmósfera y velocidad de corrosión de metales desnudos, y

e) el aumento de la velocidad de corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón a consecuencia de una despasivación de éstas por la presencia de cloruros, etcétera.

En esta conferencia mi intención es referirme a algunos de estos casos de búsqueda de relaciones cuantitativas que plasmen el efecto de los cloruros. Los trabajos que pasaré a exponer tienen la particularidad de haber sido abordados por equipos de investigación del CENIM y del Instituto E. Torroja, en un caso, ambos del CSIC de España.

Me complacería que los resultados, algunos todavía provisionales, pues los ensayos continúan, merezcan el interés de los congresistas, a los que quisiera comunicar lo mejor de nuestra experiencia en corrosión marina. Desafortunadamente, me enfrento con la desventaja de que mi vida profesional haya transcurrido en una ciudad, Madrid, a cientos de kilómetros del mar, sin el apoyo de un laboratorio de corrosión marina e, incluso, con la mente alejada de los problemas que plantea este singular medio corrosivo, que es el mar.

Los temas concretos a que voy a referirme son:

1. Cuantificación del efecto corrosivo de los cloruros en la atmósfera.
2. Cuantificación del efecto de los cloruros en la vida de los recubrimientos de pintura.
3. Cuantificación del efecto de los cloruros en la corrosión de las armaduras.

EFECTO CORROSIVO DE LOS CLORUROS EN LA ATMOSFERA

El tema es importante, pues son mayoría las estructuras metálicas expuestas al deterioro atmosférico. En el proyecto de una instalación metálica deben aunarse las razones técnicas con las económicas, persiguiendo siempre el máximo rendimiento al más bajo coste. Por este motivo, se hace imprescindible disponer de datos sobre las propiedades a la corrosión de los materiales. Aun

(*) Conferencia plenaria dada el 7 de noviembre de 1988 en la Universidad Politécnica de Valencia, con motivo del 7.° Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones.

(**) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Madrid (España).

cuando los metales se exponen pintados los requisitos de protección son función de la agresividad atmosférica.

Debiera poderse precisar, desde un punto de vista cuantitativo, el efecto de la atmósfera marina en el fenómeno corrosivo. Sin embargo, los datos varían dentro de amplios límites. Mientras se ha comprobado una extremadamente alta velocidad de corrosión junto a un rompiente, en otros puntos, también a orillas del mar, si bien de aguas más sosegadas, la corrosión no pasa de moderada. La comparación entre velocidades de corrosión y salinidades pone de manifiesto que el efecto depende del contenido salino de la atmósfera (depósito de partículas salinas sobre la superficie metálica), pero también de las variables meteorológicas.

En la bibliografía se encuentran algunas relaciones estadísticas entre salinidad y corrosión. Sin embargo, un problema práctico a la hora de hacer predicciones es el marcado ámbito local de tales funciones empíricas, que no garantiza la extrapolación a condiciones distintas de las de la estación, población o región en la que se ha llevado a cabo la experimentación. Otro problema es la escasez de relaciones, en las que, además, intervengan los parámetros meteorológicos. Es importante este último punto para una mejor definición de las condiciones ambientales que, en su conjunto, determinan las cifras de corrosión. Por otra parte, muchos datos de corrosión de atmósferas marinas han sido obtenidos en lugares en que coexisten con los cloruros niveles apreciables de dióxido de azufre, a veces del mismo orden o superiores que los de aquéllos, por lo que habrá una superposición o interacción de efectos, que enmascarará el propio efecto de los cloruros.

Por tanto, sigue siendo un objetivo de interés científico y técnico, no alcanzado todavía plenamente, el establecimiento de las funciones dosis/respuesta relativas al comportamiento de los metales en las atmósferas marinas con un campo de validez lo más universal posible. Sería deseable, desde un punto de vista práctico, que estas relaciones se establecieran con parámetros de contaminación y meteorológicos fácilmente asequibles.

Por nuestra parte nos hemos propuesto contribuir a este objetivo mediante la recopilación y el tratamiento estadístico de los datos de corrosión marina concernientes a España y otros países, que han sido obtenidos y publicados por muy diferentes equipos de investigación (1). Al considerar globalmente los datos procedentes de condiciones ambientales muy diferentes, tanto respecto a los niveles de contaminación como a la meteorología imperante, se confía en que las relaciones que se obtengan posean un amplio campo de aplicabilidad.

En lugar de introducir en las correlaciones el tiempo de humectación medido directamente o estimado por el número de horas al año en que la HR ha superado determinados niveles, se ha utilizado, como indicador de las condiciones de humectación, el dato de la HR medio anual, muchas más asequible. Por parecido motivo, en lugar de utilizar como parámetro el número de días de lluvia al año, se ha recurrido a los milímetros de precipitación anual. Aunque el tiempo de humectación y el número de días de lluvia son mejores indicadores del tiempo real durante el cual progresa la corrosión atmosférica que la HR media o cantidad de lluvia caída, la más fácil disponibilidad de estos últimos justifican su consideración preferente. Está claro que si con ellos fuera posible obtener correlaciones aceptables se simplificarían enormemente las predicciones de agresividad atmosférica.

Siguiendo estas directrices y después de probar distintos tipos de funciones, se ha llegado a establecer las siguientes ecuaciones:

$$\ln C = 0{,}5506 \ln Cl + 5{,}775 \ln H - 0{,}0325 \ln L + 0{,}2804 \ln T - 21{,}323 \qquad \text{Ec. 1}$$

para la corrosión del acero de bajo contenido en carbono en atmósferas marinas con niveles de SO_2 no superiores a 0,4 mg $SO_3/dm^2/día$, y

$$\ln C = 0{,}2847 \ln Cl + 2{,}642 \ln H + 0{,}9073 \ln L + 0{,}0877 \ln T - 16{,}243 \qquad \text{Ec. 2}$$

para la corrosión del cinc en las mismas condiciones (2, 3).

Los relativamente elevados coeficientes de correlación que se han obtenido para las ecuaciones 1 y 2 confirman la posibilidad, antes comentada, de utilizar parámetros meteorológicos sencillos (HR media y volumen de lluvia) como indicadores del tiempo de humectación.

Aplicando antilogaritmos a las ecuaciones 1 y 2, se convierten éstas en producto de cuatro factores, vinculados, respectivamente, a la contaminación por cloruros, HR, lluvia y temperatura. De esta manera tenemos la posibilidad de analizar el efecto individual de estos parámetros en la corrosión. Por ejemplo, circunscribiéndonos al efecto de los cloruros, las gráficas de la figura 1 muestran como, al variar el contenido en cloruros de la atmósfera desde 0,2 a 10 mg $NaCl/dm^2/día$, supuestos los demás factores constantes, la corrosión anual del acero se incrementa unas ocho veces, y la del cinc algo más de tres veces. Cabe hacer notar que la corrosión de ambos metales aumenta en menor proporción que el contenido de cloruros de la atmósfera para niveles elevados de este contaminante. El cinc parece menos sensible que el acero dulce a las altas concentraciones de cloruros en la atmósfera.

EFECTO DE LOS CLORURO EN LA VIDA DE LOS RECUBRIMIENTOS DE PINTURA

Al igual que en la corrosión atmosférica de los metales desnudos, el comportamiento de los recubrimientos de pintura expuestos a la atmósfera depende también de

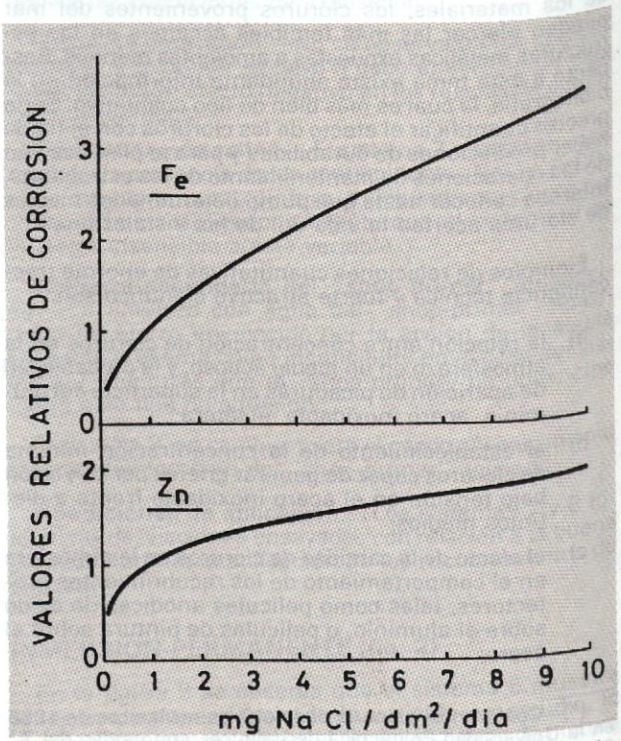


Fig. 1.—Efecto de la contaminación atmosférica por cloruros en los valores relativos de corrosión del acero dulce y del cinc.

los factores climáticos y, por tanto, de contaminación por cloruros.

Son muy limitados los datos experimentales sobre el efecto de las variables climáticas en la vida de los recubrimientos de pintura aplicada al acero que conduzcan al establecimiento de relaciones cuantitativas del tipo dosis/respuesta. La Tabla 1 reproduce los resultados de una encuesta realizada por Keane (3) a los departamentos de obras públicas de los diferentes Estados norteamericanos. Se observa que la durabilidad del recubrimiento de pintura decrece marcadamente conforme aumenta la agresividad atmosférica, siendo máxima la reducción de vida en las atmósferas de tipo marino.

La Tabla 2 presenta los resultados provisionales de un estudio que el CENIM realiza en la actualidad (4, 5), en el que se trata de relacionar la contaminación atmosférica con la duración del sistema de pintura. Se confirma, una vez más, el efecto especial de las atmósferas marinas en el deterioro del recubrimiento de pintura, aunque faltan por plantear correlaciones definitivas entre el grado de deterioro y el nivel de contaminación. Este es un objetivo científico-técnico que alguien debiera plantearse, y que exigiría el ensayo sistemático del efecto combinado de las variables propias del sistema protector, variables meteorológicas, y, claro está, de la cantidad de cloruros en la atmósfera. Las dificultades experimentales para abordar con la amplitud conveniente un estudio de esta naturaleza están retrasando la disponibilidad de una información cuantitativa del mayor valor para el diseño anticorrosivo de estructuras metálicas.

Hay otro aspecto al que quisiera dedicar unos comentarios, y que guarda, asimismo, relación con el efecto de los cloruros en la durabilidad de los recubrimientos de pintura. Me refiero a una contaminación de la intercara pintura/acero por cloruros. Con frecuencia la pintura se aplica después de que la estructura de acero haya sido erigida y expuesta, probablemente, a la acción corrosiva durante cierto tiempo. Tanto el dióxido de azufre de la combustión de combustibles como los cloruros provenientes del mar pueden ejercer un importante papel durante este período, dando lugar a sulfatos y cloruros solubles en el agua, que promueven la formación de herrumbre. Estas sustancias estimuladoras de la corrosión causan, también, el deterioro prematuro del recubrimiento de pintura aplicado posteriormente al acero contaminado.

Una de las cuestiones básicas es la de si existen niveles críticos de concentración de contaminante en la superficie del acero que una vez sobrepasados, y sólo si son sobrepasados, producen un importante efecto en el deterioro del recubrimiento. En el supuesto de que la respuesta sea afirmativa, lo cual parece lógico, tendrá el mayor interés práctico determinar esos niveles para las distintas circunstancias. Por ejemplo, para los diversos sistemas de pintura empleados, espesores de recubrimiento, y lugares de exposición.

En la investigación realizada en el CENIM (6), se simuló la presencia de contaminantes solubles colocando sobre las probetas cantidades variables de $FeSO_4.7H_2O$ y del NaCl, en los niveles que muestra la Tabla 3. Posteriormente, estas probetas fueron pintadas mediante la aplicación de diferentes sistemas de pinturas (Tabla 4). Por último, se sometieron a ensayos de exposición natural en atmósferas de distinta agresividad (rural, urbana e industrial). Tanto el tipo de sistema de pintura aplicado, como el tipo de atmósfera y espesor del recubrimiento, ejercieron en los primeros años un papel importante en la aparición de ampollas en el recubrimiento. Sin embargo, es interesante señalar que al cabo de cuatro años de exposición, el deterioro se puso de manifiesto en todas las atmósferas, y con prácticamente todos los sistemas y espesores de recubrimiento tomados en consideración, siempre que el nivel de NaCl en la intercara hubiera alcanzado los 500 mg/m². Una excepción fueron los sistemas basados en una imprimación de silicato de

TABLA 1

Resultados de una encuesta realizada a los departamentos norteamericanos de obras públicas sobre la durabilidad de los sistemas de pintura en las diferentes atmósferas (3)

Tipo de atmósfera	Durabilidad del sistema de pintura Número de respuestas				Sin contestación
	10 años	7-9 años	4-6 años	1-3 año	
Normal	21	12	3	—	4
Seca	12	3	1	—	24
Húmeda	3	4	8	3	22
Urbana o Industrial	6	8	4	1	21
Marina o Química	—	4	9	9	18

TABLA 2

Variación con el tiempo del grado de oxidación del sistema clorocaucho en distintas atmósferas. Preparación de superficie, B St 2. Espesor de película, 60 μm

Tipo de atmósfera	Grado de oxidación de la superficie pintada (porcentaje de superficie oxidada)		
	1.er año	2.º año	5.º año
Rural (El Pardo)	0	0	16
Urbana (Madrid)	0	0	10
Industrial (Hospitalet)	0	0,3	10
Marina (Vigo)	1	16	50

TABLA 3

Niveles ensayados de contaminación salina en mg/m²

NaCl	$FeSO_4$
20	150
100	250
500	500

TABLA 4

Sistemas de pintura y espesores de recubrimiento aplicados sobre una superficie de acero contaminado con 500 mg/m² de NaCl. Resultados al cabo de cuatro años de exposición en diferentes atmósferas

Sistema de pintura	Espesor (μm)	Tamaño y frecuencia de las ampollas		
		Rural	Urbana	Industrial
Graso/alquídica	65	Minúsculas y pocas	Pequeñas y abundantes	Pequeñas y bastantes
	130	Minúsculas y numerosas	Medianas y abundantes	Pequeñas y abundantes
Alquídicas	65	Pequeñas y numerosas	Pequeñas y abundantes	Pequeñas y abundantes
	95	Pequeñas y numerosas	Minúsculas y bastantes	Pequeñas y abundantes
Clorocaucho	75	Minúsculas y numerosas	Pequeñas y numerosas	Pequeñas y numerosas
	130	Minúsculas y numerosas	Minúsculas y abundantes	Pequeñas y numerosas
Vinílica	90	Delaminación	Pequeñas y numerosas	Pequeñas y numerosas
	150	Grandes y abundantes	Medianas y numerosas	Medianas y numerosas
Poliuretano	120	Minúsculas y numerosas	Medianas y numerosas	Medianas y numerosas
Epoxi/poliuretano	100	Minúsculas y numerosas	Pequeñas y numerosas	Medianas y numerosas
	150	Minúsculas y numerosas	Medianas y numerosas	Pequeñas y numerosas
Silicato de cinc	60-95	Sin ampollas	Sin ampollas	Sin ampollas
Silicato de cinc/clorocaucho	80-140	Sin ampollas	Sin ampollas	Sin ampollas
Silicato de cinc/vinílica	100-150	Sin ampollas	Sin ampollas	Sin ampollas

cinc, que no mostraron ningún ampollamiento en este período de tiempo, lo que hace pensar en una especial tolerancia de los recubrimientos ricos en cinc hacia la contaminación salina depositada en la intercara pintura/acero. Por otra parte, con niveles de NaCl de sólo 100 mg/m², el deterioro del recubrimiento se detectó únicamente en determinadas situaciones, por ejemplo, en la atmósfera marina e industrial con el sistema clorocaucho.

Como conclusión, es posible que un nivel de contaminación de 100-500 mg/m² de NaCl en la intercara metal/pintura introduzca ya un riesgo potencial importante para la vida de muchos sistemas de pintura anticorrosiva que se utilizan comúnmente en la protección de estructuras en la atmósfera. Hay que hacer resaltar el especial efecto de la contaminación superficial por cloruros si se compara con el de la contaminación por sulfatos, que necesita de concentraciones superficiales unas diez veces mayores para ejercer efectos similares, según los resultados de la investigación comentada.

DESPASIVACION DE LAS ARMADURAS DE ACERO EMBEBIDAS EN EL HORMIGON A CAUSA DE LOS CLORUROS

El hormigón armado es un material de construcción ampliamente utilizado en muchos ambientes con excelentes resultados. Mientras el pH del líquido intersticial en los poros del hormigón sea igual o superior a 12,5, las armaduras del acero deben encontrarse pasivas. Sin embargo, este comportamiento satisfactorio puede cambiar si el hormigón se impregna de iones cloruro, cuya presencia destruye la naturaleza protectora de la película pasiva sobre el acero. Es probable que los iones cloruro, capaces de modificar el entorno de las armaduras, provengan de medios marinos, de las sales de deshielo, o de los aceleradores de fraguado en la elaboración del hormigón.

Las condiciones ambientales y las características del propio hormigón determinan la cinética de penetración de los agentes agresivos responsables del acortamiento de la vida en servicio de la estructura. El tiempo de incubación del proceso corrosivo será función de la capacidad, impermeabilidad y composición del hormigón, del tipo de cemento, agresividad del medio exterior, así como de la cinética de transporte de las especies agresivas hacia el interior del hormigón. El gran número de parámetros hace prácticamente imposible predecir el comportamiento de las armaduras. Sin embargo, si de algún modo fuera posible conocer la velocidad instantánea de corrosión de las armaduras a pie de obra, se contaría con un dato de inestimable valor para calificar el estado de conservación de las estructuras de hormigón armado, para evaluar el proceso de deterioro, las demandas de reparación y la esperanza de vida de las estructuras existentes, como puentes y edificios. Su impacto sería grande en la práctica del mantenimiento de puentes, ya que permitiría anticiparse a fallos potenciales, fijar prioridades en las estructuras a reparar, y facilitaría el seguimiento de la eficacia de estas reparaciones.

Por este motivo, se comprende que hoy en día atraiga gran interés el tema de la realización de medidas no destructivas de velocidad de corrosión en las grandes estructuras de hormigón armado. A menudo, estas medidas persiguen, simplemente, detectar a tiempo una eventual despasivación del acero de las armaduras por los cloruros.

Es corriente utilizar la respuesta a señales eléctricas para obtener información sobre la estabilidad de los metales frente a los medios más diversos. La velocidad instantánea de corrosión se determina en el laboratorio a partir de la resistencia de polarización, R_p, por medio de la bien conocida ecuación de Stern-Geary, $I_{corr}=B/R_p$, siendo I_{corr} la intensidad de corrosión, y B una constante. Su aplicación exige conocer primero el valor de R_p. Con este fin, el sistema debe desplazarse de su punto de equilibrio para que las velocidades de las reacciones

anódica y catódica no sean las mismas y pueda medirse una corriente neta. Puede aplicarse un escalón de potencial al metal y medirse la corriente resultante, que fluye entre el metal y un contraelectrodo, y medirse la polarización resultante. Esta es la base de todas las técnicas electroquímicas de medida.

Tratándose de pequeñaas probetas metálicas, lo normal es polarizar a toda la probeta y dividir la corriente de corrosión por el área de metal. Bajo condiciones controladas de laboratorio, la determinación de este área no ofrece problemas importantes. Las probetas son pequeñas y la geometría de los electrodos es la adecuada para que toda la superficie se polarice con una corriente uniforme. Sin embargo, al tratar de extender las medidas de polarización a las grandes estructuras de la ingeniería civil, nos encontramos con una serie de limitaciones inherentes a su tamaño. No podemos polarizar a la estructura entera, sino sólo a pequeñas áreas, las cuales deben quedar bien caracterizadas, o delimitadas, con el fin de poder calcular la velocidad de corrosión. Satisfacer este requisito en las grandes estructuras encierra las mayores dificultades.

Un equipo investigador formado por personal del CENIM y del Instituto E. Torroja ha demostrado la posibilidad de aplicar la técnica de la resistencia de polarización a la medida de la velocidad de corrosión de las armaduras metálicas en grandes vigas y tableros de hormigón armado recurriendo a un modelo en "línea de transmisión" (7, 8). Basándose en este modelo (figura 2), ha podido determinar el verdadero valor de la resistencia de polarización de las armaduras (que permite el cálculo de la intensidad de corrosión a través de la ecuación de Stern-Geary) en función del valor aparente de la resistencia de polarización que se obtiene experimentalmente cuando se aplica una señal eléctrica a la estructura metálica, de la resistividad del hormigón y la geometría de la estructura. Es importante destacar que de esta manera ha sido posible diferenciar claramente entre el comportamiento a la corrosión de las armaduras en hormigón sin cloruros y el de las armaduras en un hormigón impregnado de cloruros. Mientras que en el primer caso se obtienen valores de R_p del orden de 10^5—10^6 ohm.cm², en el segundo caso los valores de R_p son del orden de 10^3—10^4 ohm.cm². Estos valores traducidos en cifras de corrosión son equivalentes a 0,1—1 μm/año para el acero pasivo (hormigón sin cloruros) y 5—50 μm/año para el acero parcialmente activo. Con estas determinaciones es posible seguir el comportamiento a la corrosión de las armaduras metálicas, conocer si los cloruros han conseguido despasivarlas y cuantificar el proceso de deterioro.

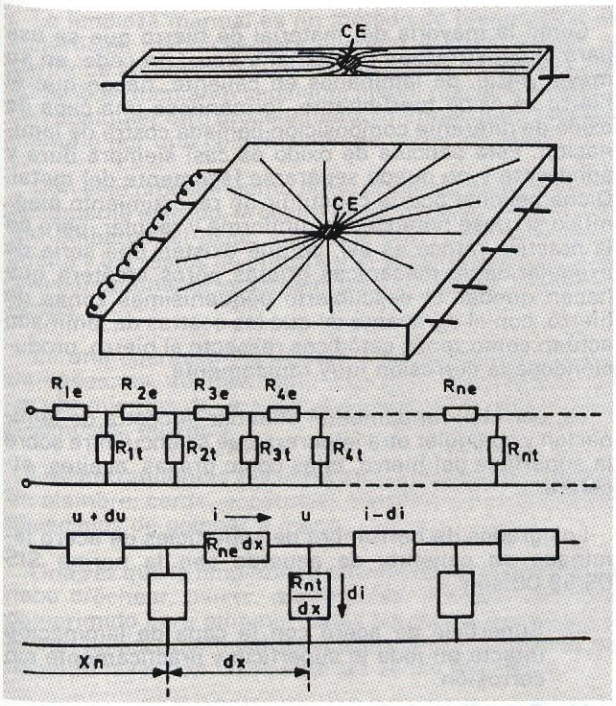


Fig. 2.—Líneas de corriente desde un pequeño contraelectrodo circular situado sobre una viga o tablero de hormigón armado. Abajo, circuito equivalente para interpretar la respuesta a una señal eléctrica de pequeña amplitud.

Espero que estos pocos ejemplos sirvan para demostrar la importancia de llegar a un conocimiento cuantitativo del efecto de los cloruros en la durabilidad de los materiales que integran las grandes obras metálicas. Por desgracia, a pesar de las contribuciones mencionadas y muchas otras de la literatura científica, nos hallamos lejos todavía de haber alcanzado plenamente este objetivo. Por tanto, pienso que los distintos laboratorios y equipos de investigación vamos a seguir invitados, y seguramente por mucho tiempo, a prestar nuestro apoyo a la tarea de profundizar en el tema planteado hasta su total esclarecimiento.

REFERENCIAS

1. S. FELIU Jr.; M. MORCILLO; J. M. BASTIDAS y S. FELIU: *Ecuaciones dosis/respuesta para la corrosión del acero en atmósferas marinas*, 7.° Congreso Internacional de Corrosión Marina e Incrustaciones, Valencia (España), noviembre, 1988.
2. S. FELIU y otros: para publicar.
3. J. D. KEANE: *Protective coatings for highway structural steel*, NCHRP Report N.° 74, Steel Structures Painting Council, Pittsburg, 1969.
4. M. MORCILLO y S. FELIU: *Corrosió i Medi Ambient*, Universidad de Barcelona, 1983, págs. 312-319.
5. M. MORCILLO: para publicar.
6. M. MORCILLO; S. FELIU, J. C. GALVAN y J. M. BASTIDAS: *JOCCA*, N.° 1, 72 (1988), 16.
7. S. FELIU; J. A. GONZALEZ; C. ANDRADE y V. FELIU: *On site determination of the polarization resistance in a reinforced concrete beam*, NACE, CORROSION'87, S. Francisco (EE.UU.), 1987.
8. S. FELIU; J. A. GONZALEZ; M. C. ANDRADE y V. FELIU: *Corrosion Science* (en Prensa).

PREPARACION DE SUPERFICIES. INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD EN EL ESQUEMA DE PINTADO

Por Daniel Fernández Morán (*)
Ldo. en Ciencias Químicas

INTRODUCCION

En esta conferencia se analizarán los métodos más importantes de preparación de superficies en los campos naval e industrial para la aplicación de las pinturas.

Uno de los factores más importantes en un buen trabajo de pintado es asegurarse de que la superficie ha sido adecuadamente preparada para el sistema de pintado que se va a aplicar.

La inversión realizada en la aplicación del mejor recubrimiento puede perderse completamente si la preparación de superficie es inadecuada. En muchas ocasiones se culpa al fabricante de pinturas del fallo prematuro de un sistema de pintado cuando, en la realidad, se ha escatimado en la preparación de superficie.

De cómo hacer, qué calidades de preparación de superficies son las más convenientes para diferentes sistemas de pintado, de cómo influye la rugosidad de superficie chorreada en la primera capa, así como los rendimientos prácticos de las pinturas serán temas que se tocarán en este trabajo.

GENERALIDADES - PREPARACION DE SUPERFICIES

El resultado de toda pintura depende de las características de la misma, de la naturaleza y preparación de la superficie sobre la que se haya aplicado y de los métodos de aplicación empleados, así como de las condiciones que rigen durante la aplicación.

Antes de proceder a pintar una estructura metálica es necesario explicar muy brevemente el por qué se debe preparar la superficie antes de ser pintada.

Un acero ordinario, perfectamente limpio y liso, expuesto a una atmósfera de aire seco, prácticamente no se corroe porque se forma sobre su superficie una película de óxico muy adherente y compacta que protege la oxidación del resto del metal.

Ahora bien, si el aire está húmedo el caso es distinto, porque se forma una capa de óxidos-hidratos muy porosa y muy poco adherente.

Como la mayoría del material de hierro que se usa para la construcción industrial o naval procede, en su mayor parte, de laminados en caliente, hacen que el hierro se oxide fuertemente, formándose una capa de óxido de diferente composición llamada costra de laminación. Esta película de óxido es casi siempre dura y adherente y no puede separarse fácilmente del metal. Dicha película podría constituir un revestimiento magnífico si fuese homogénea, uniforme y regular, pero en la práctica nunca es así, porque existen una serie de irregularidades mecánicas, grietas, poros, etcétera, que hacen quedar al descubierto pequeñísimas zonas de hierro, con el agravante de que las costras de laminado actúan como zonas catódicas respecto al hierro, produciéndose la corrosión muy rápidamente.

Es, por ello, fundamental eliminar la costra de laminación y cualquier otra impureza que se encuentre sobre la superficie del hierro, tales como grasas, aceites, etcétera.

Los grados de herrumbre de superficies de acero laminado en caliente, de acuerdo con la norma SIS 05.59.00 son:

a) Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.

b) Superficie de acero con principio de corrosión y de la que la capa de laminación comienza a despegarse.

c) Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o de la que la capa de laminación puede ser eliminada por rascado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles.

d) Superficie de acero donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y donde se han formado en gran escala cavidades visibles.

Entre las distintas variantes de preparación de superficie podemos destacar como las principales y más comunes usadas en los campos naval e industrial, las siguientes:

(*) Glasurit, S. A.

- Limpieza con disolventes.
- Limpieza manual.
- Limpieza mecánica.
- Limpieza con abrasivos.

Limpieza con disolventes - SSPC-SP-1-63

La limpieza con disolvente es un procedimiento para eliminar de la superficie de acero materias extrañas, tales como grasa, aceite, suciedad, compuestos de trazado y cortado y otros contaminantes superficiales mediante el uso de disolventes, emulsiones, productos de limpieza, limpieza con vapor o con cualquier método o material similar que implique una acción disolvente o de limpieza.

Es decir, que caso de especificarse la limpieza con disolvente, deberá ser utilizada antes de la aplicación de la pintura y junto con otras preparaciones de superficie con las que se pretenda la eliminación del óxido, costra de laminación o pintura.

Este método es ineficaz cuando se utiliza solo, ya que no produce la necesaria rugosidad que garantice la adherencia de la primera capa de pintura.

Limpieza manual - SSPC-SP-2-63

La limpieza manual es un método de preparación de superficies metálicas para eliminar el óxido suelto, la costra de laminación suelta y los restos de pintura mal adheridos, mediante cepillado, lijado, rascado, picado o con cualquier otro procedimiento manual, bien aisladamente o por una combinación de varios de ellos.

Con este procedimiento no se pretende eliminar completamente el óxido, la costra de laminación o la pintura. Sin embargo, el óxido suelto, la costra de laminación suelta y los restos de pintura mal adheridos y cualquier otro contaminante superficial nocivo deberán ser eliminados.

Es una operación lenta y se recomienda para zonas limitadas; es, además, apto sólo para la aplicación de recubrimientos de tipo convencional, tales como oleorresinosos, etcétera.

Las herramientas normalmente empleadas: cepillos de alambre, cerda, espátulas, martillos y herramientas especiales de golpear a mano.

Una vez que la limpieza ha terminado, la superficie se debe brochear, barrer, desempolvar o soplar con aire comprimido para eliminar todas las partículas sueltas. Si aún hubiere cantidad apreciable de grasa o aceite, se deberán lavar con disolvente las zonas afectadas.

El grado de limpieza depende de la situación inicial del acero; es normal que queden cantidades mayores de óxido o calamina en un acero con muchas corrosiones profundas que sobre una superficie lisa.

El pretratamiento, caso de estar especificado, o la primera capa de pintura, será aplicada lo antes posible después de terminada la limpieza y antes de que aparezcan nuevos deterioros de la superficie.

Limpieza mecánica - SSPC-SP-3-63.

La limpieza mecánica es un método para la preparación de superficies metálicas que vayan a ser pintadas por eliminación de la costra de laminación suelta, óxido suelto y los restos de pintura mal adheridos, mediante el empleo de cepillos mecánicos, piquetas mecánicas, lijadores y pulidoras mecánicos.

Con este procedimiento no se pretende eliminar completamente el óxido, la costra de laminación o la pintura. Sin embargo, el óxido suelto, la costra de laminación suelta y los restos de pintura mal adheridos y cualquier otro contaminante superficial nocivo deberán ser eliminados.

Se utilizarán cepillos radiales rotativos de tamaño adecuado para alcanzar todos los orificios accesibles, ángulos, juntas y esquinas. El alambre de acero de estos cepillos tendrá la suficiente rigidez para limpiar la superficie. Los cepillos se mantendrán libres de materias extrañas en exceso y serán sustituidos por otros nuevos cuando ya no sean efectivos. La superficie será limpiada pero no se pulirá hasta un grado perjudicial.

Picado mecánico, que se realiza mediante pistolas neumáticas de agujas, máquinas de picar, descalaminadoras simples o múltiples, rotatorias o de pistón, o cualquier otra máquina-herramienta de impacto. Los cantos cortantes de tales herramientas se mantendrán en condiciones eficaces.

Durante la preparación de superficies para su repintado todas las partículas sueltas de pintura deberán ser eliminadas. Los restos de pintura vieja tendrán la suficiente adhesión para que no puedan ser desprendidos al insertar la hoja de una espátula sin filo debajo de la capa.

Las cabezas de remaches, grietas, rendijas, solapes, nervios de soldadura, ángulos, etcétera, se limpiarán mediante cepillos necánicos de acero, máquinas de agujas, descalaminadoras rotatorias, pulidoras o lijadoras mecánicas, o con una combinación de éstos.

Después de finalizar la limpieza manual, el polvo y restos de partículas sueltas serán eliminadas de la superficie. Si en alguna zona apareciesen todavía residuos de aceite o grasa, éstas áreas se limpiarán con disolvente.

El pretratamiento (caso de estar especificado), o la primera capa de pintura, será aplicado lo antes posible después de terminada la limpieza y antes de que aparezcan nuevos deterioros en la superficie.

Limpieza con abrasivos

La limpieza por abrasivos puede definirse como la limpieza producida por el impacto de partículas abrasivas impulsadas a gran velocidad contra la superficie que se va a limpiar.

La limpieza por chorro abrasivo es uno de los pocos métodos que elimina eficazmente todos los restos de impurezas que hay sobre el metal; además produce una rugosidad muy deseable que ayuda a la adherencia de las pinturas.

El grado de preparación de superficie con chorro abrasivo puede variar en un amplio ámbito, según se desee. La Steel Structure Painting Council ha desarrollado unos standard de preparación de superficie que han sido aceptados y reconocidos por organizaciones y profesionales. Estos son:

— Chorreado a metal blanco SSPC-SP-5-63

El chorreado a metal blanco es un método para la preparación de superficies que vayan a ser pintadas o revestidas, por la eliminación o de óxido, óxidos, pintura o materiales extraños, mediante el uso de abrasivos impulsados a través de boquillas o de discos centrífugos.

Una superficie limpiada mediante chorreado a metal blanco se define como aquélla que presenta un color blanco grisáceo metálico, uniforme; es ligeramente rugosa y que forma un soporte de anclaje muy apropiada para recubrimientos. La superficie, a simple vista, estará libre de aceite, grasa, suciedad, costras de laminación visibles, óxido, productos de corrosión, pintura o cualquier otro material extraño. El color de la superficie, una vez limpia, puede ser afectado por el medio abrasivo utilizado en particular. Standard visuales o fotográficos de preparación de superficie pueden ser utilizados.

La superficie será chorreada hasta el grado de metal blanco mediante alguno de los procedimientos siguientes:

- Chorreado con arena húmeda o con vapor de agua, utilizando boquillas de aire comprimido, agua y arena de una granulometría inferior al tamiz de 16 mallas de la serie normalizada en EE.UU.
- Chorreado con granalla, utilizando boquillas de aire comprimido y granalla machacada de hierro fundido, hierro forjado, acero u otras granallas sintéticas, cuya granulometría pase a través de un tamiz de 16 mallas de la serie normalizada en EE.UU. El mayor grado comercial permitido por esta especificación para la granalla metálica es SAE núm. G-25 (16 mallas).
- Chorreado con perdigones, utilizando para ello boquillas de aire comprimido, hierro fundido, hierro forjado, acero o materiales sintéticos, troceados todos ellos hasta una granulometría máxima que pase a través de un tamiz de 16 mallas de la serie normalizada en EE.UU. El mayor grado comercial permitido por esta especificación es SAE núm. S-330.

La superficie, una vez chorreada en seco, será cepillada con cepillos limpios de cerda o fibra, soplada con aire comprimido o limpiada por aspiración con el propósito de eliminar de la superficie todo rastro de residuos producidos durante el chorreado, así como los abrasivos depositados en cavidades y esquinas.

Si el chorreado es realizado con arena húmeda, la superficie se limpiará mediante baldeo con agua dulce a la que se haya añadido suficiente cantidad de inhibidor para prevenir la oxidación, o mediante baldeo con agua dulce y posterior tratamiento con un inhibidor de la corrosión. Esta limpieza será complementada con un cepillado caso de que fuera necesaria la eliminación de algún residuo.

La altura máxima del perfil superficial creado por el chorreado será limitado a un valor no perjudicial para la vida de la capa de pintura. La granulometría máxima puede producir un perfil excesivamente elevado o rugoso para el sistema de pintado a seguir. En estos casos, el tamaño del abrasivo tendrá que ser reducido.

La superficie chorreada será tratada o imprimada a continuación, tal como se haya establecido en la especificación de contrato y preferiblemente dentro de las veinticuatro horas siguientes al chorreado, pero, en todo caso, antes de que aparezca alguna huella visible o perjudicial de oxidación.

— Chorreado comercial SSPC-SP-6-63

Una superficie limpiada mediante chorreado en grado comercial se define como aquélla de la que se ha eliminado completamente el aceite, la grasa, la suciedad, las costras del óxido y materiales extraños, así como el óxido superficial, la costra de laminación y las pinturas viejas, excepto ligeras sombras, líneas de decoloraciones causadas por manchas de óxido, de costras de laminación, residuos de óxido o pintura podrán aparecer en el fondo de las picaduras; como mínimo, dos tercios de cada pulgada cuadrada estarán libres de todo residuo visible y en el resto se permitirá solamente la ligera decoloración o las pequeñas manchas de óxido o de los residuos compactos mencionados anteriormente.

Standard visuales o fotográficos deben ser utilizados.

El tamaño de la arena, granalla y demás características serán iguales a lo descrito en el chorreado a metal blanco (SP-5-63).

— Chorreado casi a metal blanco SSPC-10-63T

La superficie limpiada hasta el grado "casi a metal blanco" se define como aquélla de la que se ha eliminado todo el aceite, grasa, suciedad, costra de laminación, óxidos, productos de corrosión, pinturas u otros materiales extraños, excepto muy ligeras sombras, muy pequeñas rayas o ligeras decoloraciones producidas por manchas de óxido, de calamina o de pintura compacta, las cuales pueden permanecer sobre la superficie. Como mínimo, un 95 por 100 de la superficie quedará libre de todo residuo visible, y en el resto sólo se observarán las ligeras decoloraciones arriba mencionadas. Standard visuales o fotográficos de preparación de superficies deben ser utilizados.

Los tipos de granalla, perdigones y procedimientos es el mismo que lo dicho para el chorreado a metal blanco.

— Soplado con abrasivos SSPC-SP-7-63

Con este procedimiento no se trata de que la superficie haya de quedar totalmente libre de costras de laminación, óxidos o pinturas. Sin embargo, los restos de calamina, óxido o pintura que pueden permanecer adheridos deberán ser firmes y compactos y la superficie quedará suficientemente rugosa para asegurar la buena adhesión de la pintura.

Una superficie limpiada mediante soplado con abrasivos se define como aquélla de la que el aceite, grasa, suciedad, costras de óxido, costra de laminación suelta y óxido suelto y pintura mal adherida han sido eliminados completamente, pero que, sin embargo, pueden permanecer costras de laminación, óxidos y pinturas compactos, firmemente adheridos, con tal de que todas las costras de laminación y el óxido hayan sido expuestos al chorro abrasivo suficientemente para descubrir las numerosas manchas distribuidas uniformemente debajo del metal por toda la superficie.

Standard fotográficos o visuales de preparación de superficie deben ser utilizados.

Las equivalencias entre las diferentes normas de preparación de superficies más empleadas en España están puestas en la figura 1. Por supuesto que hay otros procedimientos, como, por ejemplo limpieza por ácidos, limpieza por llama, etcétera, los cuales no son descritos aquí por creer que son de muy poco uso en el campo naval.

Figura 1
Equivalencias normas de chorro, arena y manual

SSPC	SIS 05.59.00	BRITISH STANDARD
SP-2	St_2	Segunda calidad
SP-3	St_3	Tercera calidad
SP-5	Sa_3	Primera calidad
SP-10	Sa 2, 1/2	Segunda calidad
SP-6	Sa 2	Tercera calidad
SP-7	Sa 1	

ABRASIVOS - TIPOS - RUGOSIDADES

Hemos visto ya los grados de preparación de superficie, así como las equivalencias entre las diferentes normas.

Veamos ahora los diferentes abrasivos más empleados en la preparación de superficie. Son los siguientes:

— *Arena de sílice*

Es el abrasivo más empleado, sobre todo cuando se utiliza el "método de chorro libre", ya que es de costo razonable; sin embargo, su ritmo de roturas es bastante grande, entre 10-40 por 100, y por eso se vuelve a utilizar raramente. Es conveniente usar una arena con un 90 por 100 o más de sílice para conseguir una limpieza más efectiva y disminuir los ritmos de rotura. Tiene el inconveniente que produce mucho polvo y también el peligro de silicosis.

— *Escorias*

(Subproductos de la reducción de mineral de plomo y cobre.) Son relativamente baratos, producen menos polvo que la arena, con gran índice de rotura, por lo que, generalmente, no se vuelven a utilizar.

— *No metálicos*

(Carburo de silicio, óxido de aluminio.) Generalmente se emplean en "chorro de taller", aunque son caros, muy duros, corte rápido, se recuperan y se vuelven a utilizar.

— *Metales*

(Deshechos de hierro y acero en bolas o granalla.) De uso normalmente en taller; tienen bajo índice de rotura, son eficaces, caros, se vuelven a utilizar.

El empleo de uno u otro abrasivo depende de numerosos factores, tales como tipo del metal a limpiar, rotura del abrasivo, precio, tamaño del material a limpiar, condiciones del chorreado, etcétera.

Dado que, a una misma presión de trabajo y una misma boquilla, la rugosidad hecha por los abrasivos depende del tamaño de los mismos, es interesante conocer la profundidad máxima en micras producidas por varios tipos de abrasivos. La distribución de tamaño está hecha de acuerdo con la norma ASTM E-11-61 (máximo diámetro del abrasivo o diámetro interior de la malla, en milímetros).

Por ejemplo, para tres abrasivos distintos, arena, granalla, perdigón, y de acuerdo con norma ASTM y para una presión de 5,6 kg/cm^2 y una boquilla de diámetro 5/16". (Ver tabla 1.)

Perfiles típicos con una granalla G-40, un perdigón S-230, una arena media malla 18 pueden verse en la figura 2.

No voy a entrar en detalles sobre conceptos de rugosidad, parámetros, aparatos, etcétera, solamente voy a emplear aquí unos conceptos simples, que son:

a) El —Ra— (distancia media aritmética), también llamado "aritmetic average", se define como el valor medio aritmético de las distancias de los puntos del perfil efectivo, a la línea media, en una longitud de perfil preestablecido.

La línea media es aquélla que divide al perfil en dos zonas, una por encima y otra por debajo de ella, de tal forma que la superficie de la sección de las crestas sea igual a la superficie de la sección de los valles.

b) El —Rt— es la mayor distancia, media normal a la línea media entre la cresta más alta y el valle más profundo. Este valle y cresta no son necesariamente consecutivos. (Ver figura 3.)

Quien estuviese interesado puede consultar las siguientes normas:

— Norma AFNOR (NF E 05-015).
Estado de la superficie de los productos.

— Norma AFNOR (NF E 05-017).
Determinación de las superficies-medidas.

— Norma AFNOR (NF E 05-051).
Muestras de comparación.

— ISO R-468.
Rugosidad de superficie.

TABLA 1

Relación entre número de mallas de abrasivo y rugosidad de la superficie en micras. (Sobre acero dulce, usando presión de 5,6 kg/cm^2 y diámetro de boquilla de 5/16".)

Abrasión	Mallas	Máximo diámetro abrasivo	Perfil máximo huella
— Chorro arena (Sand Blasting)			
• Arena fina	40	0,4 mm.	47,5 micras
• Arena media	18	1 mm.	62,5 micras
• Arena gruesa	12	1,6 mm.	70,0 micras
— Chorro granalla (Grit Blasting)			
• Granalla G-80	40	0,4 mm.	32,5-75 micr.
• Granalla G-50	25	0,7 mm.	84,0 micras
• Granalla G-40	18	1 mm.	91,5 micras
— Chorro perdigones (Shot Blasting)			
• Granalla S-230	18	1 mm.	76,2 micras
• Granalla S-330	16	1,2 mm.	83,8 micras
• Granalla S-390	14	1,4 mm.	91,4 micras

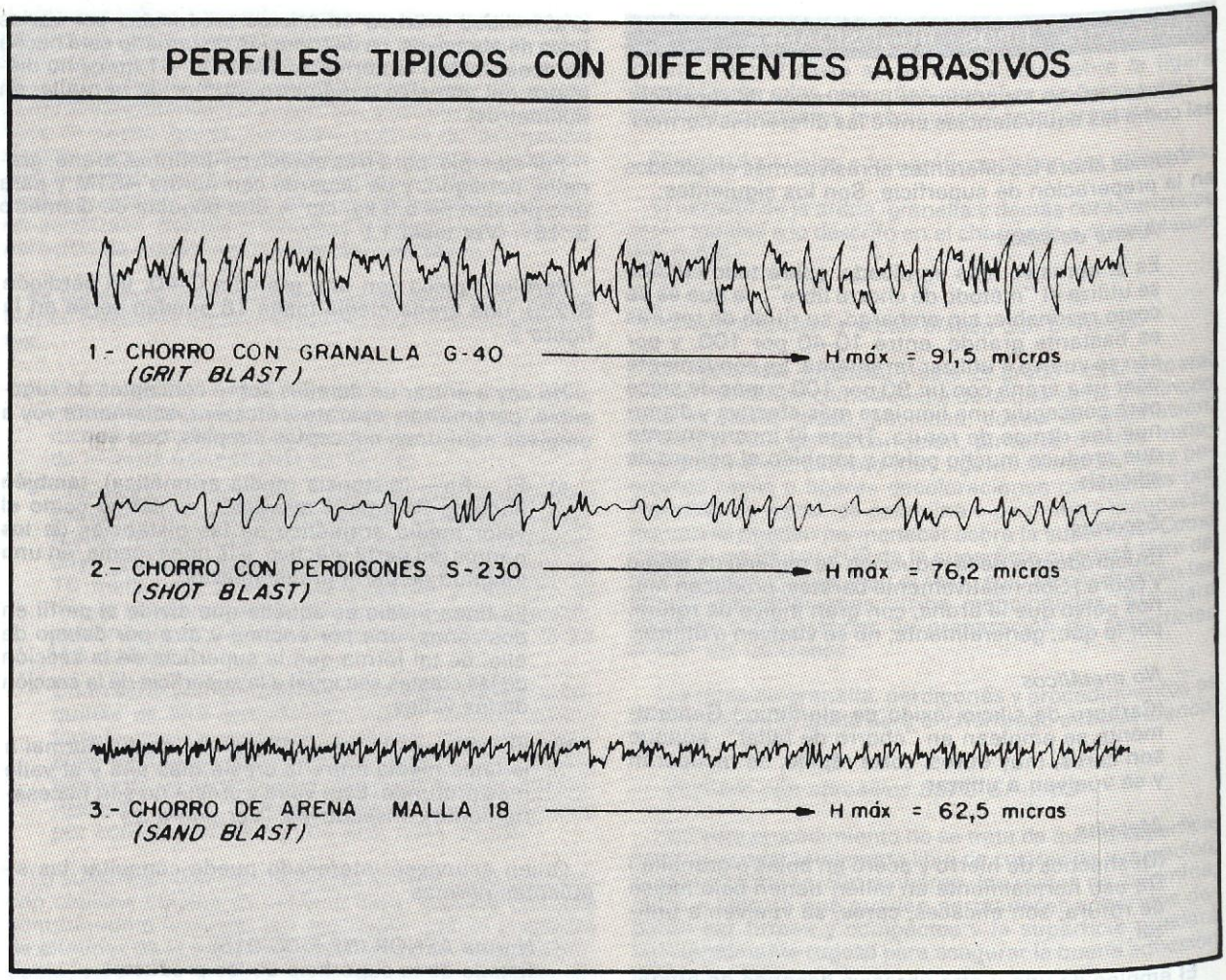


Figura 2.

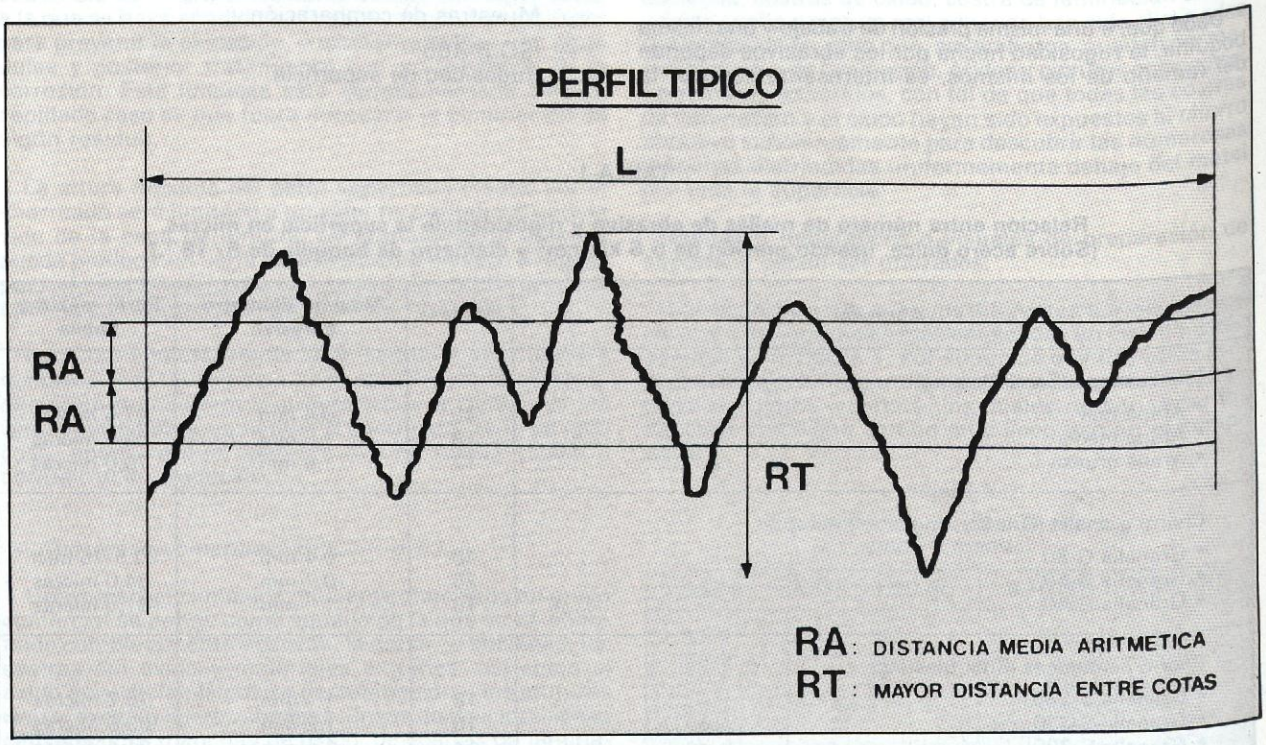


Figura 3.

— ISO 1878.
Clasificación de los aparatos que sirven para medir y evaluar los parámetros geométricos de los estados de superficie.

— ISO 1879.
Instrumentos de medida de rugosidad de superficie por el método del perfil.

— ISO 1880.
Instrumentos de medida.
Instrumentos de contacto.
Registradores de perfil.

INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD PREPARACION DE SUPERFICIES DE ACUERDO CON LOS TIPOS DE PINTURA A EMPLEAR

La preparación de la superficie metálica a pintar tiene tanta importancia, o más, que la correcta elección del tipo de pintura. Se puede afirmar que con una pintura de calidad mediocre, aplicada sobre una superficie bien preparada alcanzará mejor resultado que una pintura de alta calidad aplicada sobre una superficie cuya preparación no se ha cuidado el grado necesario.

En toda oferta o esquema de pintado se suelen especificar una serie de datos, tales como número de capas a aplicar, espesor de la película seca, tiempos mínimos de repintados entre cada capa, sólidos en volumen, preparación de superficie para cada zona a pintar, etcétera. Pero en muy pocas ofertas se suele especificar la rugosidad de la superficie una vez chorreada la chapa. La cosa, aunque no lo parece, tiene su importancia, por los siguientes motivos:

1.° Cuando la primera capa a aplicar es un Wash-Primer y, como este tipo de pinturas alcanzan unos espesores de 10-15 micras películas seca, no bastan para recubrir un pico de un chorreado, oxidándose la superficie al poco tiempo.

2.° Influencia sobre los rendimientos prácticos de las capas de pintura. Ya que un rendimiento práctico es igual al rendimiento teórico por el factor de rugosidad y por el factor de aplicación. Es decir:

Rendimiento práctico = Rendimiento teórico × Factor rugosidad × Factor aplicación

En las tablas siguientes doy unos datos aproximados sobre los diferentes factores:

Factor de rugosidad	1.ª capa	Acabado
— Sobre superficie acero lisa	0,95	0,98
— Sobre acero chorreado ligero o sobre acero con ligeras picaduras	0,80	0,85
— Sobre acero chorreado grueso o sobre acero viejo con grandes concavidades	0,60	0,75

Factor de aplicación	Factor
— Aplicación brocha o rodillo	0,85-0,90
— Aplicación pistola airless (interiores)	0,75-0,80
— Aplicación pistola airless (exteriores)	0,60-0,80

En la práctica, lo que se suele hacer es tener en cuenta solamente el rendimiento teórico y el factor de aplicación para calcular el rendimiento práctico, pero para cálculos más exactos habría que tener en cuenta también el factor de rugosidad, sobre todo para la primera capa de pintura.

Creo que es interesante conocer los grados mínimos de superficies de acuerdo con los sistemas de pintado, ya que muchas veces éste es el "caballo de batalla" entre el técnico de pinturas y los clientes. Todo lo que sea rebajar estos mínimos va en perjuicio de todo el sistema de pintado.

La tabla siguiente nos dará una idea de lo que acabo de exponer.

CONCLUSIONES

Estudios llevados a cabo en Estados Unidos han demostrado, técnicamente, la importancia tan considerable que tine la preparación de superficies en un esquema de pintado.

No me cansaré de repetir que la vida de un sistema de pintado va estrechamente ligada a la calidad de preparación de superficie.

El escoger la adecuada calidad depende de muchos factores, tales como tipo de pintura a emplear, zona a proteger, razones económicas, etcétera.

(Pasa a la pág. 517.)

ANTIINCRUSTANTES AUTOPULIMENTANTES.

CONCEPTOS Y ASPECTOS PRACTICOS

Por Juan Guijarrubia González (*)
Ing. Industrial. M.B.A.-ESADE

1 EVOLUCION DE LAS PINTURAS ANTIINCRUSTANTES EN LAS DOS ULTIMAS DECADAS

En los últimos años las pinturas antiincrustantes han sufrido una tremenda evolución en sus conceptos, así como en los tipos de polímeros utilizados para su formulación.

El avance de la tecnología en lo referente a la protección anticorrosiva de los cascos de acero, hizo que las sociedades de clasificación dilataran progresivamente los tiempos entre varadas sucesivas. Este hecho, conjuntamente con la dramática evolución de los precios del combustible en la década de los setenta, provocaron una aceleración en la evolución de la tecnología en la lucha contra la incrustación; habiendo pasado de la utilización generalizada de recubrimientos convencionales a la aplicación de productos basados en copolímeros sofisticados en poco más de diez años.

1.1. Los antiincrustantes tradicionales

Los tipos de pinturas antiincrustantes utilizados hasta la aparición de los autopulimentantes pueden resumirse en dos conceptos básicos, que denominaremos a partir de ahora *tradicionales* (o no pulimentantes). Estos dos tipos, podemos definirlos como antiincrustantes de matriz soluble y antiincrustantes de matriz insoluble o de difusión.

- *Antiincrustantes de matriz soluble*

Estos productos, todavía utilizados en la actualidad, aunque en clara regresión, utilizan como elementos bioactivos fundamentales óxido cuproso y compuestos órgano-estánnicos. Dichos compuestos se hallan aglutinados en la película seca del producto, mediante un aglutinante que contiene una gran proporción de resina soluble en agua de mar (ejemplo, colofonia).

La prevención de incrustaciones se consigue mediante la liberación de los compuestos bio-activos presentes en la película, como consecuencia de la disolución de la parte soluble del aglutinante.

Desde un punto de vista práctico de utilización, sus ventajas y limitaciones se pueden resumir como sigue:

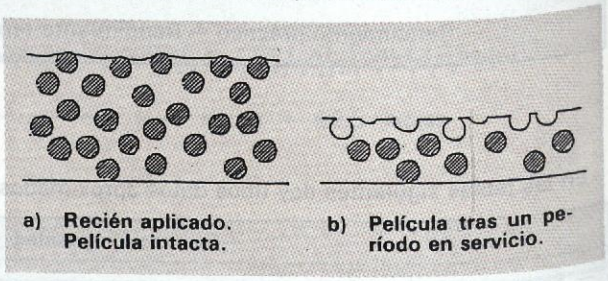


Fig. 1.—Mecanismo de funcionamiento.

— Pueden usarse sobre imprimaciones "blandas", tanto en cascos de madera como de acero.

— No toleran la exposición al oxígeno atmosférico durante períodos prolongados de tiempo. Los buques tratados con estos productos deben ponerse a flote a las pocas horas de finalizada su aplicación.

— La disolución del aglutinante se desarrolla de forma incontrolada, lo que limita la predictibilidad de la vida útil de la película como antiincrustante.

— Las propiedades mecánicas de la película y especialmente del conjunto de capas formado sobre el casco tras sucesivos repintados, dejan mucho que desear, lo que provocará a medio plazo, un incremento en la rugosidad promedio del casco por aparición de defectos tales como desconchados, desprendimientos, etcétera.

- *Antiincrustantes de matriz insoluble* (de difusión)

A diferencia de los anteriores, en este tipo la parte fundamental del ligante es un compuesto insoluble, normalmente una resina de secaje físico (caucho clorado, vinílica, acrílica).

Los compuestos bio-activos (óxido cuproso, órgano-estánnicos), conjuntamente con una pequeña cantidad de resina soluble, se hallan dispersados en el seno de esta matriz insoluble.

La función antiincrustante, se consigue mediante la difusión hacia la superficie externa de la película, de los

(*) Pinturas marinas HEMPEL S.A.E.

compuestos bio-activos en un proceso conocido como *LIXIVIACION*. En la figura 3 se representa, en forma gráfica, la evolución de la velocidad de lixiviación durante el tiempo de servicio del buque.

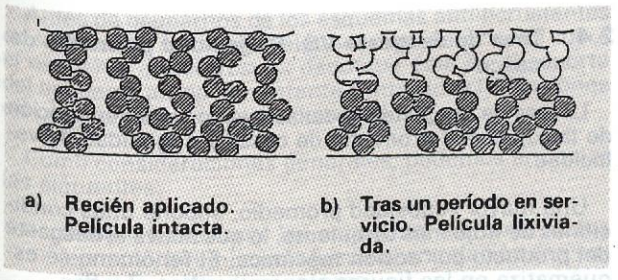


Fig. 2.—Mecanismo de funcionamiento.

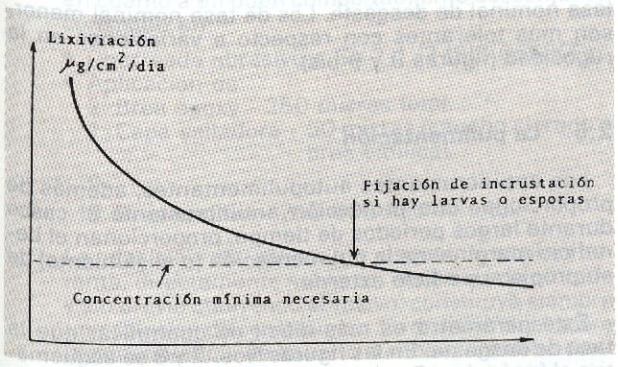


Fig. 3.—Curva típica lixiviación (matriz insoluble).

Las ventajas y limitaciones de este tipo de productos se resumen a continuación:

— El contenido de elementos bio-activos en la película seca es sensiblemente más elevado que en el caso de los de matriz soluble.

— Sus propiedades mecánicas son superiores a los convencionales por utilizar aglutinantes de mayor calidad.

— Pueden quedar expuestos a la atmósfera durante semanas sin que se alteren sus propiedades mecánicas, ni su comportamiento antiincrustante.

— No pueden aplicarse sobre imprimaciones "blandas"; ya que sus formulaciones contienen normalmente disolventes fuertes.

— La presencia de la matriz semi-vacía y porosa tras un período de funcionamiento, hace que sea necesario aplicar una capa selladora antes de aplicar nuevas capas de antiincrustante en las sucesivas varadas.

2 ANTIINCRUSTANTES AUTOPULIMENTANTES

2.1. Constitución

El componente fundamental de la película, es un copolímero acrilo-estánnico que aúna las funciones de aglutinante y de compuesto bio-activo. Puesto en contacto con agua de mar, en su superficie tiene lugar una reacción de hidrólisis que da como consecuencia fundamental la liberación de componente bio-activo, con la consiguiente funcion antiincrustante.

Dicha reacción, en condiciones predeterminadas, tiene lugar con una velocidad predictible, por lo que la podemos calificar como de DISOLUCION CONTROLADA.

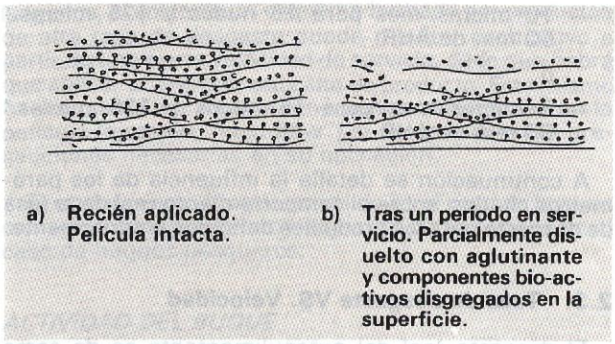


Figura 4.

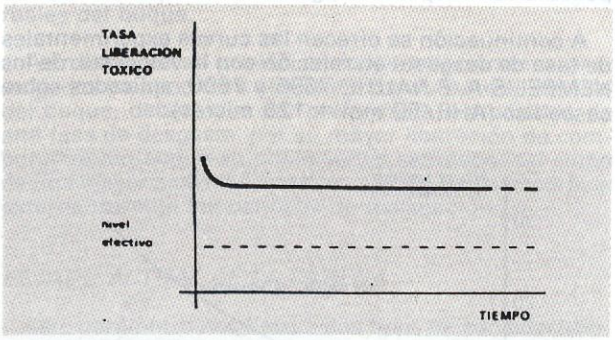


Fig. 5.—Autopulimentante. Curva de liberación de tóxico.

Las diferencias fundamentales de estos antiincrustantes, en relación con los tipos tradicionales, se enumeran a continuación:

— La velocidad media de liberación de elemento bio-activo, se mantiene constante en el tiempo, lo que confiere una mayor fiabilidad a su función antiincrustante.

— No se acumulan capas a través de sucesivas varadas, lo que elimina un factor de incremento de la rugosidad promedio de casco; al que hay que sumar el efecto pulimentante del producto en sí mismo, sobre el que trataremos más adelante.

— El repintado en varadas sucesivas, solamente requiere un lavado con agua a presión y aplicación del espesor deseado de antiincrustante nuevo, sin capa de sellado intermedia.

2.2. La tasa de desgaste ("polishing rate")

Entendemos como tasa de desgaste al espesor desgastado (disuelto) por unidad de tiempo, del producto autopulimentante, durante el servicio del buque. Las expresaremos normalmente en micras/mes.

Este valor es el parámetro fundamental a considerar, al diseñar el espesor total de producto a aplicar para un intervalo entre varadas conocido. Sin embargo, no puede pasarse por alto el hecho de que su valor numérico está en función de otros parámetros, relativos al estado del casco y a las características del buque:

— VELOCIDAD DE SERVICIO.

— RUGOSIDAD PROMEDIO DEL CASCO.

A la vista de lo anterior, el formulador diseñará un producto cuya *tasa nominal de desgaste*, está referida a unas condiciones standar de velocidad relativa casco-agua y rugosidad promedio de casco. Así, por ejemplo, definiremos esta tasa nominal de desgaste de la forma siguiente:

— 10 micras/mes para 15 nudos y 125 micras/50 mm de AHR.

ó

— 5 micras/mes para 15 nudos y 125 micras/50 mm de AHR.

A continuación se detalla la influencia de los parámetros citados, sobre el comportamiento real de la tasa de desgaste para los productos definidos anteriormente.

2.3. Tasa de desgaste VS. Velocidad

El desgaste real del autopulimentante se da como combinación de su disolución simple y la fricción de la película con respecto al agua.

A continuación se ofrecen las curvas experimentales de tasa de desgaste en relación con la velocidad, de los HEMPEL'S A/F NAUTIC 7695 y 7690, aplicados sobre casco liso (AHR/50 mm = 125 micras).

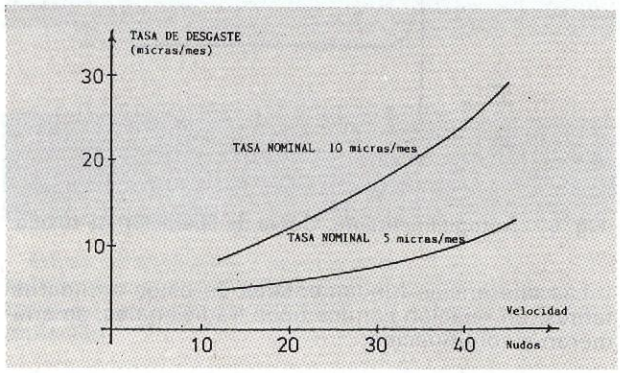


Fig. 6.—Efecto de la velocidad de servicio en la tasa de desgaste.

La gráfica anterior pone en evidencia que en el caso de buques rápidos, resulta necesario incrementar el espesor de producto autopulimentante aplicado, a igualdad de intervalo, entre varadas sucesivas.

2.4. Tasa de desgaste VS. Rugosidad promedio de casco

La tasa de desgaste puede, asimismo, variar en función de la rugosidad promedio de casco y a igualdad de velocidad.

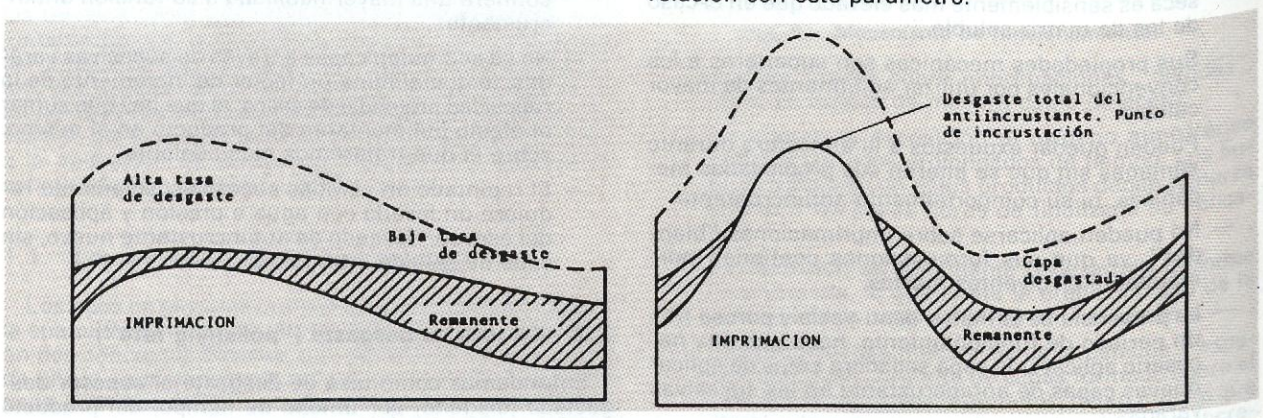
Una mayor rugosidad promedio, supone unas condiciones de flujo más turbulento, lo que activa el desgaste del producto por acción mecánica. El fenómeno se esquematiza en las figuras siguientes (Nos. 7 y 8).

El efecto es más acusado en los productos de alta tasa nominal de desgaste. Los de tasa nominal menor, son más tolerantes con respecto a variaciones en la rugosidad (figuras 9 y 9 bis).

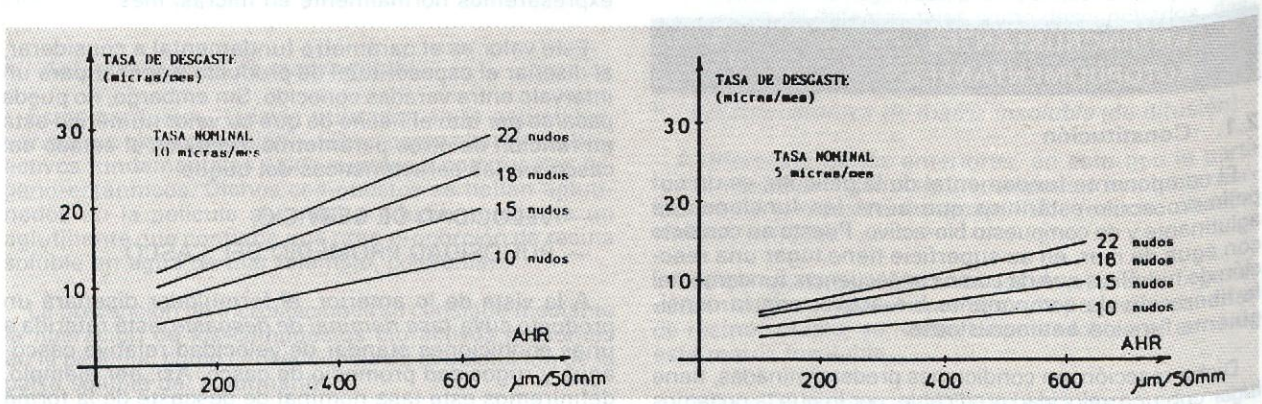
2.5. La pulimentación

Los antiincrustantes autopulimentantes, además de proporcionar una protección antiincrustante al casco durante largos períodos de tiempo, proporcionan el beneficio marginal de la pulimentación (o alisamiento) de su propia superficie externa.

Este parámetro es más difícil de cuantificar que la tasa de desgaste. En las figuras Nos. 7 y 8 se esquematiza el fenómeno. Como regla empírica, podemos enunciar que, en promedio, la pulimentación puede llegar a ser aproximadamente un 20 % de la tasa de desgaste. Sin embargo, en la práctica se han hallado cifras bastante dispersas que nos inducen a adoptar una actitud conservadora a la hora de cuantificar las expectativas en relación con este parámetro.



Figs. 7 y 8.—Efecto de la rugosidad en la disolución del antiincrustante. Sección transversal.



Figs. 9 y 9 bis.—Efecto de la rugosidad promedio de casco (AHR) sobre la tasa de desgaste.

3. ESQUEMAS DE PINTADO

3.1. Esquema anticorrosivo

Antes de ocuparnos de los esquemas antiincrustantes en sí, resultan necesarias algunas consideraciones sobre el esquema anticorrosivo; dado que éste es el soporte del esquema autopulimentante e introduce limitaciones en cuanto a la utilización de aquél.

Como consideraciones generales, podemos enunciar las siguientes:

— Deben descartarse los esquemas convencionales (ejemplo, bituminoso-aluminio) en relación con esquemas autopulimentantes.

— Las opciones que ofrecen las máximas expectativas en cuanto a un buen comportamiento del conjunto, consisten en:

- Chorreado abrasivo a Sa 2 1/2 (SIS 055900).
- Aplicación de:
  2×Brea epoxy - 250 micras total.
  1×Capa selladora - 50 micras (caucho clorado o brea vinílica).

  ó

  3×Brea vinílica - 250-300 micras total.

— La decisión de aplicar un esquema antiincrustante, directamente sobre un esquema de pintado y sin previo chorreado abrasivo, constituye siempre una solución de compromiso. La decisión final sobre la conveniencia de llevarlo a cabo o no, debe condicionarse a una inspección previa del estado del esquema actual, con objeto de constatar la integridad del mismo (ausencia de corrosiones, adherencia al sustrato y cohesión interna).

3.2. Esquemas antiincrustantes. Criterios de selección

En párrafos anteriores ha quedado patente la incidencia de factores relativos al estado del casco del buque, así como a sus condiciones de servicio, sobre el comportamiento de las capas autopulimentantes aplicadas y más concretamente sobre su tasa de desgaste.

Dichos parámetros no pueden despreciarse, por lo que resulta necesario hacer un análisis individual de cada buque a la hora de diseñar su esquema autopulimentante óptimo. Los parámetros que conforman dicha selección son, por consiguiente:

— *INTERVALO ENTRE VARADAS DESEADO.*

— *VELOCIDAD DE SERVICIO.*

— *ACTIVIDAD DEL BUQUE.*

— *ESTADO ACTUAL DE LA CARENA* (integridad del recubrimiento y rugosidad promedio).

Comentamos someramente cada uno de los parámetros enunciados.

INTERVALO ENTRE VARADAS

Este es el parámetro fundamental a considerar el diseño (capas, espesor) del esquema autopulimentante. En la actualidad, es habitual la demanda de esquemas con una durabilidad de hasta 36 meses y superiores.

VELOCIDAD DE SERVICIO

Ya hemos visto la incidencia de este parámetro sobre la tasa de desgaste. Para intervalos entre varadas prolongados, el coste de un esquema formado por productos de alta tasa de desgaste puede resultar prohibitivo a partir de una cierta velocidad de servicio, dado que habrá que aplicar un espesor muy alto de producto. Este mismo hecho puede dar lugar a fenómenos indeseables en la película (ejemplo, "cold flow") si no se toman las precauciones necesarias en su aplicación.

El razonamiento inverso es válido en el caso de buques con velocidades de servicio bajas, tal como sucede en el caso de buques pesqueros.

ACTIVIDAD DEL BUQUE

Un conocimiento previo de este parámetro nos permite adecuar el espesor total a aplicar a las necesidades reales del buque.

Asimismo, si se prevén períodos estacionarios prolongados (superiores a dos semanas) durante el servicio del buque, deberemos dar preferencia a productos de alta tasa de desgaste, por su mayor liberación de componente bio-activo en condiciones estáticas, así como de una mayor actividad en la renovación de su superficie externa durante los períodos de navegación.

ESTADO ACTUAL DE LA CARENA

Este parámetro nos lleva a dos tipos de consideraciones:

— *La decisión sobre la posibilidad de aplicar el esquema autopulimentante sobre los recubrimientos existentes.* Llegamos a esta decisión mediante el conocimiento del historial del buque en lo referente a tratamiento de la obra viva (tipos de pinturas usadas, política de mantenimiento seguida), debiendo constatar esta información básica, mediante una cuidadosa inspección en el dique seco, antes de tomar la decisión final.

— *La medición o aparición de la rugosidad promedio de casco (AHR).* Según lo visto anteriormente, cuanto mayor es este valor, más aconsejable será utilizar productos de baja tasa de desgaste, con objeto de evitar un agotamiento prematuro del espesor de película aplicado.

3.3. Esquemas modulares

A la vista de lo anterior, estamos en condiciones de afirmar que la elección del esquema autopulimentante óptimo, desde el punto de vista técnico y económico, para un buque concreto, es un problema con una cierta complejidad inherente.

La experiencia práctica ha venido a demostrar que el concepto de los *esquemas modulares* resulta particularmente útil en la optimización técnico-económica del esquema a utilizar.

Esta idea consiste en combinar capas de productos autopulimentantes con distintas tasas de desgaste. Podemos afirmar que la combinación de productos de tasa de desgaste nominal de 5 micras/mes y 10 micras/mes cubre el campo de soluciones delimitado por los valores siguientes:

— Velocidad de servicio: 10-22 nudos.

— Rugosidad promedio de casco (AHR): 125-500 micras/50 mm.

Fuera de estos límites debemos introducir productos con tasas de desgaste distintas de las anteriormente indicadas; así, por ejemplo:

— Para AHR superior a 500 micras/50 mm utilizaremos como capa de base, productos de muy baja tasa de desgaste (ejemplo, 2 micras/mes) con objeto de evitar un agotamiento prematuro del espesor disponible de producto.

— Para velocidades bajas de servicio (ejemplo, buques pesqueros) o bien buques de muy baja actividad, introduciremos el uso de productos de muy alta tasa de desgaste (hasta 20 micras/mes), con objeto de obtener una suficiente renovación de su superficie externa a pesar de esas condiciones desfavorables.

4. EL ASPECTO ECONOMICO

Una gran parte de la energía suministrada por la combustión en el motor principal de un buque, se consume en vencer la resistencia friccional. Dicha resistencia friccional varía considerablemente de un tipo de buque a otro, llegando en algunos casos a representar hasta el 80 % de la resistencia total al avance.

El parámetro que incide de forma fundamental en la magnitud de la resistencia friccional, es la RUGOSIDAD PROMEDIO DEL CASCO (AHR).

4.1. Rugosidad promedio de casco

La rugosidad promedio del casco de un buque, en un momento dado, es el resultado de la combinación de los factores siguientes:

1) APENDICES EN EL CASCO (ánodos, quillas de balance, etcétera).
2) CORROSIONES.
3) ESTADO DE LA PINTURA (desprendimientos, desconchados, ampollas, etcétera).
4) INCRUSTACIONES (ejemplo, algas, balanos).

4.2. Evolución de la rugosidad promedio de casco durante la vida del buque

La British Ship Research Association, ha dedicado esfuerzos a investigar aspectos cuantitativos en relación con la rugosidad promedio de cascos de buques. Incluso han desarrollado un aparato de medida específico para este propósito (AHR Gauge).

Los resultados de mediciones realizadas sobre gran número de buques se resumen en la gráfica siguiente:

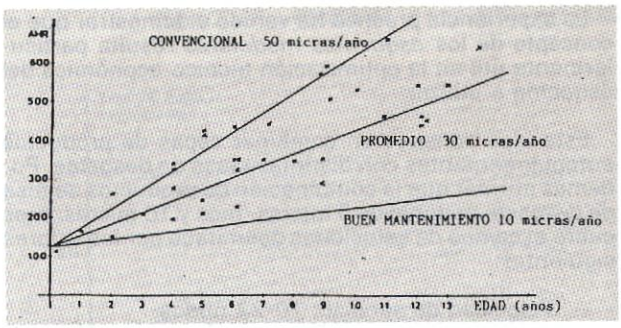


Fig. 10.—Evolución de la rugosidad promedio de casco en función de la edad del buque.

De la gráfica anterior, podemos extraer las siguientes cifras de referencia:

— Valor típico en buque de nueva construcción: 125 micras/50 mm.

— Incremento anual promedio todo tipo de buques: 30 micras/año.

4.3. Correlación rugosidad promedio de casco - potencia

BOWDEN y DAVISON, en su trabajo "Resistance Increments due to Hull Roughness Associated with Form Factor. Extrapolation Methods", desarrollaron una correlación matemática entre el valor de rugosidad de casco y potencia, adoptada posteriormente por la International Towing Tank Conference en 1978. La expresión matemática es como sigue:

$$\frac{\Delta P_1 - \Delta P_2}{P} \times 100\ (\%) = 5{,}8\ [K_1^{1/3} - K_2^{1/3}]$$

Donde:

P = Potencia total.
ΔP_1 = Diferencial de potencia para un casco rugoso.
ΔP_2 = Diferencial de potencia para un casco liso.
K_1 = Rugosidad promedio en micras del casco rugoso.
K_2 = Rugosidad promedio en micras del casco liso.

En base a lo anterior, podemos calcular el extra consumo (o ahorro) por incremento de rugosidad de casco (o disminución).

4.4. El chorreado abrasivo y su incidencia en la rugosidad de casco

Mediante el chorreado abrasivo, puede conseguirse una reducción sensible de valor de la rugosidad promedio de casco. En la tabla siguiente se ofrecen los ahorros de combustible en (%) que se pueden esperar para diferentes tipos de buques y como consecuencia del chorreado abrasivo.

Edad (años)	Mantenimiento con recubrimientos convencionales	Promedio	Buen mantenimiento recubrimientos avanzados
2-2 ½	6,9	4,2	1,4
5-5 ½	13,0	7,6	2,2
8	16,0	9,5	2,8
10	16,0	9,5	3,0
15	13,0	8,4	3,7

Fig. 11.—Ahorros potenciales de combustible derivados del chorreado abrasivo. (En el supuesto de que el valor alcanzado tras el chorreado vuelve a ser 150 ÷ 200 micras/50 mm.)

4.5. La incidencia de los autopulimentantes sobre el consumo de combustible

La utilización de antiincrustantes del tipo autopulimentante proporciona ahorro de consumo de combustible, a partir de los dos hechos siguientes:

— *LA EXTENSION DEL TIEMPO EN SERVICIO CON EL CASCO LIMPIO DE INCRUSTACIONES*

— *LA REDUCCION DE LA RUGOSIDAD PROMEDIO DEL CASO (AHR).*

Trataremos cada uno de estos componentes del ahorro por separado.

EXTENSION DE LOS PERIODOS LIBRES DE INCRUSTACION

Ya hemos enunciado anteriormente que los autopulimentantes mantienen un nivel promedio de liberación de elementos bio-activos, constantes a lo largo de toda su vida activa. De esta forma, podemos programar el espesor de producto a aplicar, de acuerdo con el intervalo entre varadas deseado, sin riesgos de incrustación durante el período.

Para buques que operen a velocidad constante y con sus fondos recubiertos con un antiincrustante tradicional, a partir de un cierto momento en el período entre varadas se experimenta la necesidad de un incremento de potencia para mantener la velocidad prefijada. Este momento coincide con la fijación de incrustación incipiente en la obra viva. El proceso se ejemplifica en la figura 12.

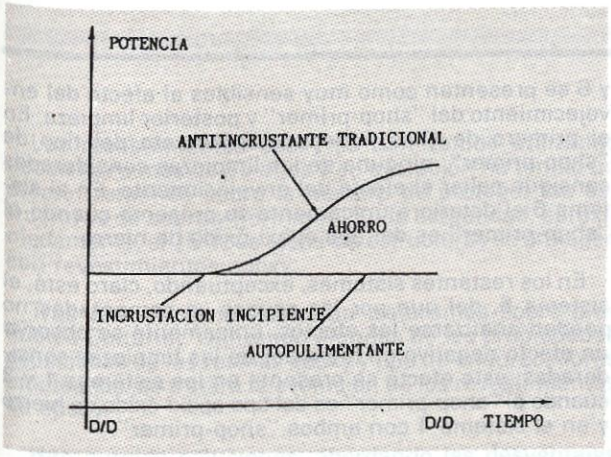


Fig. 12.—Evolución de la potencia a velocidad constante en el tiempo.

La magnitud de este ahorro no es fácilmente cuantificable de una forma general; ya que dependerá de la naturaleza de los organismos incrustantes que se fijarían sobre el antiincrustante tradicional en un buque determinado con un tráfico determinado.

REDUCCION DE LA RUGOSIDAD PROMEDIO DEL CASCO

Los autopulimentantes, independientemente del efecto anterior (prolongación de períodos libres de incrustación) proporcionan un ahorro marginal a través de su efecto de pulimentación (o reducción de la rugosidad promedio del casco). Esta partida de ahorro, aunque no despreciable, no es comparable en magnitud a las proporcionadas por la reducción sensible de rugosidad mediante el chorreado abrasivo en buques de una cierta edad, ni al ahorro proporcionado por ausencia de incrustaciones durante todo el período entre varadas.

La pulimentación depende fundamentalmente del tipo de producto usado; así como del valor actual de la rugosidad promedio de casco (AHR). Estos factores, así como otros que inciden en el servicio del buque, hacen difícil la predicción exacta de su valor numérico. De cualquier forma, como valores de referencia, podemos hacer la siguiente predicción conservadora, de acuerdo con los valores obtenidos hasta el momento actual, en relación con los HEMPEL'S A/F NAUTIC 7690 y HEMPEL'S A/F NAUTIC 7695 (ver tabla a pie de página).

Asimismo, en la figura 13 se muestran los ahorros de combustible para los productos citados, combinados con la rugosidad promedio de casco.

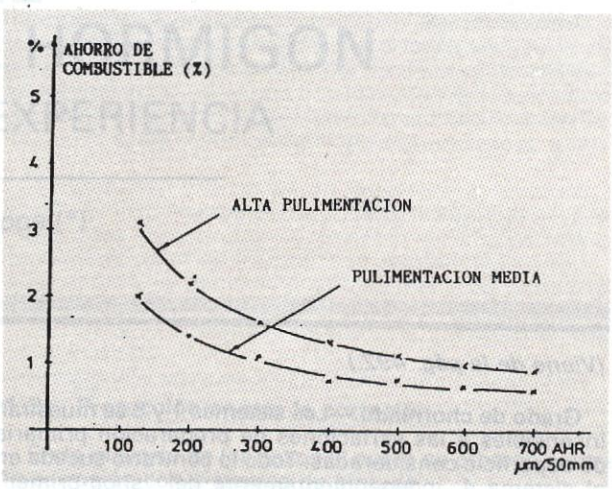


Fig. 13.—Efecto de la pulimentación en el ahorro de combustible.

CONCLUSION

La experiencia actual ha venido a demostrar que pueden obtenerse ahorros de combustible, a través de una protección antiincrustante eficiente durante períodos largos y del control de la rugosidad promedio de casco (AHR).

En buques viejos, el chorreado abrasivo ofrece expectativas de ahorro atractivas. Mediante esta operación y debido a una sensible reducción de la rugosidad promedio de casco, pueden obtenerse ahorros comprendidos entre un 5 a un 15 %.

Los autopulimentantes proporcionan reducciones sensibles de los costes de combustible, debido sobre todo a su eficiencia como antiincrustantes y de una forma marginal (1-5 %), como consecuencia de una cierta reducción de la rugosidad promedio del casco (AHR).

REFERENCIAS

1. LACKENBY, H.: *The Resistance of Ships with Special Reference to Skinfriction and Hull Surface Conditions.* The thirty-fourth Thomas Love Gray lecture. Institution of Mechanical Engineers, Jan. 1962.

2. HACKING, H. and RIPPON, A. H.: *Hull Roughness and Surface Deterioration of Ships built since 1965.* BSRA report NS 455.

	Tasa nominal de desgaste	Tasa de pulimentación (ΔAHR)
HEMPEL'S A/F NAUTIC 7690	10 micras/mes	1 ÷ 1,5 micras/mes
HEMPEL'S A/F NAUTIC 7695	5 micras/mes	0,5 ÷ 1 micra/mes

3. TOWNSIN, R. L.; BYRNE, D.; MILNE, A. and SVENSEN, T.: *Speed, Power and Roughness: The Economics of Outer Bottom Maintenance.* The Royal Institute of Naval Architects. Spring Meeting, 1980.

4. BOWDEN, B. S. and DAVISON, N. J.: *Resistance Increments due to Hull Roughness Associated with Form Factor Extrapolation Methods.* NMI Ship TM 380, Jan. 1974.

5. TOWNSIN, R. L.; MOSS, B.; WYNNE, J. B. and WHYTE, I. M.: *Monitoring the Speed Performance of Ships.* North East Coast Institution of Engineers and Ship-builders. General Meeting 14. April, 1975.

6. BIDSTRUP, K.; HANSEN, O.; JOHNSEN, S.; SEIERO, J.; WARNEZ, M.: *Selfactivating Module Systems. A New Approach to Polishing Antifouling Paints.* 21st Annual Marine and Offshore Coatings Conference, Monterey, Californiam, April, 1981.

7. JOHNSEN, S.: *The Value of Selfpolishing Antifoulings.* Lloyd's List - Technical Workshop "Why burn Money?". Ship Asia 81, Hong Kong Oct. 12th-16th, 1981.

(Viene de la pág. 492.)

Grado de chorreado.—Los sistemas 1 y 6 se muestran insensibles a las variaciones de preparación primaria de superficie consideradas. Todo lo contrario sucede en el sistema 4, independientemente del "shop-primer" aplicado. En los sistemas 2 y 3 el efecto de esta variable se acusa únicamente frente a determinadas situaciones. Así, en el sistema 2 el efecto negativo de la variable se presenta siempre que el "shop-primer" no sea del tipo epoxi-cinc, y en el sistema 3 el efecto se presenta cuando no existe capa de imprimación y las preparaciones superficiales son aquellas que conducen a menores grados de limpieza (3 y 5).

Contaminación salina.—Los resultados experimentales obtenidos con relación al estudio de esta variable sugieren una cierta interacción entre las variables grado de chorreado y contaminación salina, en el sentido que la presencia de cierta herrumbre (grado 5 de chorreado) puede exaltar el efecto de una contaminación salina en la intercara metal/pintura, efecto que por sí mismo no hubiese tenido lugar. Este es el caso del sistema 1 frente a una contaminación elevada de sulfato o del sistema 3 frente a concentraciones elevadas de ambos contaminantes o del sistema 4 frente a cualquier contaminación de las ensayadas.

En el sistema 2 resulta decisiva la intervención del "shop-primer". Así el esquema, cuando no existe imprimación, no tolera contaminación alguna, independientemente del grado de limpieza por chorreado que consideremos; cuando el "shop-primer" es del tipo epoxi-óxido de hierro únicamente se observan efectos negativos en el peor de los grados de limpieza (5) y frente a concentraciones elevadas de contaminante, apareciendo de nuevo el efecto sinérgico comentado anteriormente.

El esquema 6 tolera la presencia de contaminación salina independientemente del "shop-primer" aplicado.

Limpieza secundaria del "shop-primer" envejecido.—De todos los esquemas ensayados, los sistemas 2 y 6 se presentan como muy sensibles al efecto del envejecimiento del "shop-primer" y posterior limpieza. En el primero de ellos, independientemente del tipo de "shop-primer", ninguna de las limpiezas consideradas consigue paliar el efecto del envejecimiento. En el sistema 6 el deterioro únicamente se presenta cuando el "shop-primer" es del tipo epoxi-óxido de hierro.

En los restantes sistemas, exceptuando, claro está, el sistema 5, del que por las causas ya comentadas no pueden analizarse los efectos, únicamente se observa un efecto negativo en la menor de las limpiezas consideradas; este efecto se presenta en los sistemas 1 y 3 cuando el "shop-primer" es del tipo epoxi-óxido de hierro y en el sistema 4 con ambos "shop-primer".

CONCLUSIONES

En la investigación se pone de manifiesto la importancia relativa de las distintas variables consideradas. En términos generales, las variables con mayor influencia en el comportamiento de los esquemas de pintura fueron:

— La presencia de concentraciones elevadas de contaminación salina en la intercara metal/pintura.

— El envejecimiento del "shop-primer" sin una adecuada limpieza posterior.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las empresas AESA, ASTANO, BAZAN, GLASURIT, HEMPEL y JOTUN VALENTINE la financiación otorgada para la realización de este estudio. Asimismo, agradecer a la licenciada Susana Giménez su colaboración prestada en el tratamiento con ordenador de los datos de las inspecciones realizadas.

EPOXYS PARA LA PROTECCION DEL ACERO Y DEL HORMIGON

30 AÑOS DE EXPERIENCIA

Por J. Happe (*)

Los revestimientos epoxy se han venido utilizando desde hace más de 35 años y su evolución ha tenido un efecto tremendo sobre la manera de proteger las estructuras de acero y hormigón. En la actualidad, aproximadamente, el 75 % de todas las estructuras se protegen con revestimientos epoxy.

Tras una breve introducción trataremos sobre productos Colturiet. Utilizando algunas de las propiedades específicas de las resinas epoxy y tipo de endurecedores empleados, se tratará la evolución de los revestimientos de epoxy.

Han surgido soluciones, abordando las desventajas básicas en el uso de revestimientos de dos componentes. Por medio de equipos de aplicación con pistola sin aire a alta presión, se han podido obtener temperaturas bajo cero, así como aplicaciones de revestimientos sin disolvente.

1. INTRODUCCION

1.1. Corrosión

El acero como material de construcción tiene excelentes propiedades mecánicas. Sin embargo, su gran desventaja es la poca resistencia que tiene a la corrosión.

La corrosión u oxidación del acero es un proceso electroquímico complicado, en el que la humedad y el oxígeno juegan un papel importante. Basta una humedad relativa del 60 % para que comience el proceso de la corrosión.

Este proceso se acelera con la presencia de sales (cloruros) y dióxido sulfúrico. Estos componentes se disuelven en agua, con lo cual se incrementan las propiedades conductivas en la superficie del acero. Esto acelera la corrosión.

La vida de una estructua y/o revestimiento depende, en gran medida, del medio ambiente en que se encuentre: ambiente marino, industrial o rural.

1.2. Protección contra la corrosión

En la mayoría de los casos el acero se protege contra la corrosión con sistemas de pintado.

Mediante la pintura el substrato queda protegido contra la corrosión y a la vez decorado con color.

Los componentes principales de la pintura son el vehículo, los pigmentos y el disolvente, en combinación con los aditivos. Los aditivos se utilizan para fomentar o mejorar sus propiedades, secado, etcétera.

Los sistemas de revestimiento de las pinturas que contienen disolventes, normalmente pueden separarse en imprimaciones anticorrosivas de una o dos capas en combinación co una o dos capas de acabado.

Las imprimaciones anticorrosivas previenen la corrosión del substrato, mientras que las capas de acabado tienen que proteger a la imprimación, para incrementar la efectividad y vida de la misma.

1.3. Selección del sistema y resultados

La selección del sistema de pintado especificado depende, en gran medida, de factores económicos y financieros, así como de consideraciones técnicas.

Algunas de las razones importantes a la hora de seleccionar un sistema son:

a) Posibilidades de aplicación y situación en que debe realizarse.

b) Tipo de proyecto y posibilidades de aplicar un esquema de mantenimiento bien preparado.

c) Pretratamiento recomendado.

d) Resistencia necesaria al impacto.

e) Resistencia necesaria al calor.

f) Exposición atmosférica o a la polución química.

Para recomendar el mejor sistema es importante saber las condiciones a las que el sistema de pintado va a estar expuesto, por ejemplo, un ambiente rural, marino o industrial (o combinación de éstos). Un sistema de

(*) Sigma Coatings.

pintado puede funcionar bien en un ambiente rural, pero, sin embargo, puede tener fallos en condiciones ambientales marinas.

La efectividad y período de vida esperado de los sistemas anticorrosivos depende, en gran medida, de la calidad del pretratamiento, pero también de:

g) Selección del material.
h) Espesor de película total.
i) Condiciones durante la aplicación y curado.

Es evidente que la mejor solución a todos los problemas es el uso de sistemas de pintado de uso múltiple, que puedan utilizarse bajo todo tipo de condiciones y sobre todo tipo de substrato. Este tipo de pinturas no existían. Sin embargo, después de 35 años de investigar sobre epoxys hemos conseguido soluciones.

1.4. ¿Por qué revestimientos epoxy?

Los revestimientos convencionales tales como imprimaciones de minio de plomo basadas en aceites secativos, resinas alcídicas o resinas alcídicas modificadas aún se usan.

La aplicación de esta clase de revestimientos es sencilla y tienen buena tolerancia a variadas condiciones de substrato y de aplicación.

En otras situaciones su funcionamiento no es suficiente. En ambientes industriales y marinos, allí donde la resistencia al agua, a agentes químicos y disolventes y la resistencia al impacto es importante, los resultados son muy pobres. Bajo estas condiciones revestimientos basados en otras resinas funcionan mejor.

Además del funcionamiento, el incremento de los costos por mantenimiento ha llevado a la demanda de sistemas de pintado con durabilidad mejorada y sistemas de costo-efectivo con menos capas.

Los revestimientos de alto espesor, basados en vehículos convencionales, resultan casi imposible de formular. Las capas espesas de pinturas convencionales podrían conducir a diversos defectos en la superficie, tales como lento secado, pliegues, etcétera. Estos defectos vienen causados por el hecho de que el mecanismo de curado de tales revestimientos se basa en el oxígeno cogido del aire.

Para resolver estos problemas, han aparecido nuevos revestimientos basados en vehículos inertes, tales como clorocauchos, copolímeros vinílicos, isocianatos y epoxys. Estos vehículos no necesitan oxígeno para el proceso de secado, y el curado tiene lugar por evaporación de los disolventes y/o reacción química. Esto hace más fácil la formulación de los revestimientos de alto espesor.

Para obtener buenos resultados con revestimientos sofisticados es importantísimo un buen pretratamiento del substrato, preferiblemente por medio de un chorreado. La relativamente buena tolerancia a las condiciones de aplicación, las buenas propiedades mecánicas y la resistencia a los disolventes han tenido como resultado una preferencia por los revestimientos epoxy sobre los vinílico y los de clorocaucho.

Los revestimientos epoxy han demostrado ser la solución a muchos problemas, originados por la rápida evolución de la industria química en los últimos años.

Con la estrecha cooperación mantenida con constructores de barcos, ingenieros, arquitectos y contratistas de pinturas, se hizo posible la aparición de los revestimientos epoxy COLTURIET. Este grupo de revestimientos cubre, por el momento, a 50 diferentes productos, que abordan distintos problemas del mercado.

2. REVESTIMIENTOS COLTURIET

2.1. Revestimientos epoxys basados en disolventes

Hasta el comienzo de los cincuenta no se consiguió ninguna evolución importante en el campo de la protección del acero. A principios de los años cincuenta los revestimientos epoxy fueron introducidos en el mercado.

El revestimiento estaba basado en una resina de epoxy sólida y, por lo tanto, era necesario añadir un alto porcentaje de disolventes. Esto causaba el que el contenido de sólidos fuera relativamente bajo un 50 %. El máximo espesor que podía conseguirse era de 35 a 40 micras por capa.

Durante este tiempo se disponía también de epoxys líquidos, pero en combinación con los disolventes utilizados tales como ethylene diamine y diethylene triamine, la vida de la mezcla de epoxy endurecedor era inadecuada.

La vida de la mezcla es el período entre el momento de combinar la base y el endurecedor y la solidificación (el punto en que la viscosidad es demasiado alta para asegurar una buena formación de la película). La corta vida de la mezcla era una gran desventaja, ya que el equipo de aplicación apropiado no estaba aún al alcance.

Las propiedades de los primeros revestimientos epoxy no eran las perfectas. Incluso aparecían problemas cuando tenían que repintarse. La adherenia entre capas de los revestimientos epoxy no es siempre como debiera ser.

La pobre adherencia entre capas estaba motivada por el endurecimiento de las resinas y la floración grasienta sobre el revestimiento. Esta floración era causada por la alta humedad relativa y la pobre ventilación. Mucho tiempo y esfuerzo se ha empleado para reducir este efecto.

Las propiedades de los epoxys y el rápido incremento del mercado de revestimientos de protección, ha hecho posible el que los fabricantes de materias primas inviertan en investigaciones. A este respecto, han aparecido tipos de endurecedores nuevos y más versátiles, cada uno con sus propiedaes específicas. Este progreso viene resumido en el Apéndice 1.

En un principio era necesario un período de inducción o premezcla de unas cuantas horas antes de poder aplicar el revestimiento. Debido a esta pre-reacción se redujo la presión-vapor de las moléculas-aminas más pequeñas, lo que trajo como consecuencia un mejor curado y una menor floración. La floración aparece por la reacción de las aminas con el dióxido de carbono y la humedad formando carbamatos.

En la actualidad la pre-reacción tiene lugar durante el proceso de producción del endurecedor. Parte de la resina epoxy se premezcla con el endurecedor, de tal forma que al final suficientes grupos de amina aparecen, para asegurar un buen curado cuando el endurecedor se mezcla con la pintura base. Estos endurecedores son los llamados endurecedores amine-adduct.

Además de que de esta forma se reduce al mínimo la floración, también los períodos de secado se hacen más cortos. Los tiempos de inducción se reducen a 20 minu-

tos. Otras propiedades de la película de pintura no se ven afectadas por la introducción de los aductores.

En la gama de los produtos Colturiet, estos endurecedores combinados con resinas sólidas, pueden aún encontrarse en los revestimientos de tanques (tankcoatings), imprimaciones y selladoras.

Los revestimientos curados con amine-adduct tienen una excelente resistencia a los disolventes. Esto no es sólo importante para los tankcoatings, sino para las imprimaciones y selladoras.

La buena adherencia sobre el substrato y la excelente adherencia entre capas, es primordial para los sistemas de pintado anticorrosivos, especialmente en el caso de los tankcoatings. Las capas finales no deben disolver o ablandar las capas anteriores. Este ablandamiento afecta a la adherencia.

La aparición de nuevos tipos de endurecedores, por ejemplo poliamidas, ha dado como consecuencia revestimientos apropiados para diversas condiciones atmosféricas o ambientes industriales y marinos. La presión-vapor de las moléculas-poliamidas es tan baja que, la aparición de la floración (formación de carbamatos), se reduce al mínimo. No se necesita tiempo de inducción (o pre-mezcla), lo que hace que la aplicación y manipulación sea más fácil. Propiedades tales como la elasticidad y la retención de brillo, es superior que en los epoxys curados con amine-adduct.

Los endurecedores de poliamida se utilizan también para epoxys solubles en agua, tales como el Colturiet TCN-WS.

El uso más frecuente de los epoxys con endurecedores poliamida es el de imprimación o imprimación prefabricada para el acero, tal como el Weldarite EV 65 y la imprimación rica en zinc Colturiet Zinc Imprimación.

Los poliamidas se utilizan en estos revestimientos por sus buenas propiedades de humectación, que aseguran la máxima adherencia sobre el substrato. Sin embargo, los poliamidas tienen también inhibidores de corrosión.

Los endurecedores de poliamida se uilizan también en revestimientos de alto espesor, como el Colturiet EBH 300 y el Colturiet Midcoat. El Colturiet Midcoat, que apareció en 1965, fue el comienzo de la evolución de los epoxys con prolongada repintabilidad. La experiencia alcanzada con este tipo de productos ha llevado a la introducción de una gama de epoxys con posibilidad de repintado para la protección del acero, bajo el nombre de revestimientos de Colturiet CM.

2.2. Revestimientos epoxys con bajo contenido de disolventes

La introducción de los revestimientos epoxys con bajo porcentaje de disolventes se ha acelerado con la evolución de los equipos de aplicación. El equipo de pistola sin aire no sólo posibilita la aplicación de espesores superiores, sino que también reduce los costos de mantenimiento, debido al ahorro en mano de obra. Para la mayoría de los sistemas de pintado, el número de capas necesarias, se ha reducido de tres a dos o incluso a una, en el caso de revestimientos libres de disolventes.

El primer tipo de revestimientos de alto espesor que apareció, fue el de los revestimientos de brea epoxy. que están en el mercado desde 1956. Al principio las combinaciones epoxy-brea se consideraban "epoxys ampliados" porque los compuestos de brea se utilizaban para reducir los costos de materia prima. Sin embargo, debido a su excelente resistencia al agua y sus propiedades mecánicas, esta opinión cambió rápidamente.

Debido a las buenas propiedades de humectación de los compuestos de brea, las breas epoxy tienen buena tolerancia a las condiciones de aplicación y al pretratamiento de la superficie. Catalizadores con buenas propiedades aseguran un curado apropiado, incluso a temperaturas de 5° C.

Prácticamente todos los tankcoatings se basan en revestimientos de alto espesor, con bajo contenido de disolventes, no sólo por razones económicas, sino también por razones de calidad. El buen curado de los revestimientos de tanques es muy importante para asegurar una buena resistencia química. También es importante el contenido de disolventes, cualquier forma de retención de disolvente será perjudicial para el funcionamiento y conducirá a fallos en el tankcoating.

El Colturiet GPL-HB es un tankcoating universal, el Colturiet EHB es un tankcoating especialmente desarrollado para transportes de petróleo en crudo. Nuevos productos son:

— Colturiet Phenguard (epoxy fenólico), sistema de tankcoating resistente a ácidos, alcalis, metanol y acetona.
— Sigma Multiguard (epoxy amina).
— Sigmacover (epoxy sin disolvente).

3. RESULTADOS DE INVESTIGACIONES PARTICULARES

Para todas las limitaciones en el uso de revestimientos epoxys, los suministradores de materias primas y fabricantes de pinturas, han encontrado soluciones.

Para el curado de revestimientos epoxys a temperaturas bajo cero, Sigma Coatings ha desarrollado epoxys especiales endurecidos con isocianatos catalizados. La repintabilidad de los epoxys se mejoró con la utilización de resinas epoxys modificadas en combinación con mecanismos de endurecimiento avanzados. Se han desarrollado revestimientos sin disolvente que podrían aplicarse con equipo de pistola sin aire a alta presión a temperaturas normales.

3.1. Revestimientos que curan a temperaturas bajo cero

En un principio se evitaba la utilización de epoxys, debido a que se necesitaba una temperatura mínima de 10° C para un buen curado. Utilizando catalizadores y aceleradores se pudo reducir la temperatura a 5° C. De esta forma, las condiciones climatológicas perjudicaban menos al curado y funcionamiento del revestimiento.

Otra posibilidad para disminuir la temperatura mínima es el uso de isocianatos como endurecedor en los revestimientos de tanques, trae como consecuencia una excelente resistencia de las películas de pintura a los disolventes y ácidos. Especialmente la resistencia a ácidos grados fue un distintivo especial para el mercado de los revestimientos de tanques.

3.2. Epoxys que se aplican con pistola sin aire frío

El complicado equipo, el personal especializado y los grandes costos de inversión necesarios para el equipo de pistola sin aire con doble tubo de alimentación en caliente, limitaron el uso de epoxys sin disolvente fríos

sólo para usos industriales (tales como la industria de los revestimientos para tuberías).

Recientes investigaciones han conducido a la introducción de resinas y endurecedores con viscosidades incluso inferiores y con vida de la mezcla suficientes. Los fabricantes de los equipos de aplicación han diseñado las "pistolas sin aire frío" con una presión de 60 a 1. Esto hizo posible la aplicación de tales revestimientos a temperaturas inferiores con equipos de pistola con tubo de alimentación sencillo.

En la gama de productos sin disolventes fríos (CSF) de Sigma existen:

— El Colturiet TCP-CSF, revestimiento de alto brillo que puede aplicarse a un espesor de 700 micras con homologación para agua potable.

— El Colturiet TCN-CSF - brea epoxy de alto brillo.

El Colturiet TCP-CSF se utiliza mucho en tanques, tuberías, barcos, etcétera. En la mayoría de los casos se utiliza en los substratos de acero que necesitan una protección muy resistente y a largo plazo contra un ambiente agresivo y allí donde no se pueden aplicar epoxys con disolvente. Este producto dará un resultado satisfactorio incluso en condiciones en que no se pueda dar un chorreado completo al grado Sa 2 1/2 (debido, principalmente, a los altos espesores de capa). El espesor recomendado variará entre 500 y 800 micras.

Cuando no se puede aplicar el TCN-CSF, debido al color del brea-epoxy, se recomienda el TCP-CSF. El TCP-CSF tiene una resistencia al impacto mejor que el TCN-CSF.

En 1975 se lanzó al mercado el Colturiet Armour Compound, un revestimiento epoxy sin disolvente, que puede aplicarse con un equipo convencional de mortero o un recipiente a presión. Este producto se emplea mucho para proteger el acero y el hormigón en ambientes hostiles (offshore, sistemas de alcantarillado, etcétera).

3.3. Epoxys repintables

La mayor desventaja de los revestimientos epoxy es su pobre resistencia a la luz ultravioleta, que causa caleo en el revestimiento. Se han puesto muchos esfuerzos para que los revestimientos de epoxy tengan mejor resistencia a la luz ultravioleta y, por consiguiente, mejor repintabilidad.

Un revestimiento con tales propiedades es el Colturiet CM. Combina su buena repintabilidad con su excelente resistencia a los agentes químicos. Resumen de las ventajas:

1) Excelente repintabilidad,
buena adherencia de las capas siguientes, incluso después de su envejecimiento.

2) Excelente adherencia,
buena adherencia sobre varios substratos, que hace que el CM sea apropiado para trabajos de reparaciones.

3) Película flexible,
alta flexibilidad, mejor resistencia al impacto.

4) Propiedades duraderas anticorrosivas.

5) Fácil de aplicar.

Estas propiedades se obtienen mediante modificaciones con compuestos alifáticos y mecanismos endurecedores/catalizadores especialmente desarrollados.

En general, los plásticos y epoxys se descompondrán cuando estén expuestos a la luz ultravioleta. Esta degradación se hace visible mediante la aparición de una capa fina polvorienta. Cuando no se alimina esta capa antes del repintado, esto producirá graves problemas de adherencia y fallos. Al utilizar resinas modificadas con la mezcla de endurecedor/catalizador, se reduce bastante la formación de esta capa polvorienta (caleo). Esto proporciona al CM sus excelentes propiedades de repintabilidad.

En el Apendice 3, se compara el revestimiento CM con otros tipos de revestimientos de protección, tales como alcídicos y clorocauchos.

La gama completa de los productos CM es:

— Colturiet CM imprimaicón.
Se dispone de dos imprimaciones, ambas con pigmentos inhibidores de corrosión activa. Una contiene plomo y otra no.

— Colturiet CM mio coat.
Revestimiento pigmentado con hierro micáceo para aplicar como capa intermedia o final.

— Colturiet CM coating.
Capa de acabado.

Su uso específico es un sistema para "uso general", para construcciones de acero en ambientes húmedos e industriales, construcciones de off-shore, marinas y cualquier otro proyecto que necesita un mantenimiento constante.

APENDICE 1

Evolución de los epoxys para construccción y mantenimiento

Año	Composición del vehículo	Tiempo anterior a la mezcla período de inducción	Vida de la mezcla	Floración y defectos causados por la alta humedad	Retención de brillo	Resistencia química
1950	epoxy + amina	90 minutos	24 h.	— — —	— —	++++
1953	epoxy + amine-adduct	20 minutos	12 h.	— —	—	++++
1957	epoxy + poliamida	ninguno	48 h.	±	+	+++
1965	epoxy modificado + poliamida	ninguno	12 h.	+	+	++
1975	epoxy modificado + poliamida-adduct	ninguno	10 h.	+	++	++

APENDICE 2

Evolución de los revestimientos epoxy y equipo de aplicación

	AÑOS				
	1952	1956	1960	1965	1974
Equipo	Pistola con aire	Pistola sin aire 24:1	Pistola sin aire >24:1	2-Pistola aire comprimido	Pistola sin aire 60:1
Espesor de película por capa	35-40 micras	60 micras	250 micras	300-800 micras	200-700 micras
Número de capas	4 a 5	3 a 4	1 a 2	1	1
Contenido de sólidos en volumen	40 %	50 %	70-90 %	100 %	100 %

APENDICE 3

Propiedades de algunos tipos de revestimientos para protección de construcciones de acero

	Alcídica	Clorocaucho	Epoxy (Tradicional)	Epoxy CM Coatings
Retención de brillo/caleo: El caleo comienza después de	> 24 meses	6 meses	4 meses	18 meses
Propiedades mecánicas:	++++	++++	+++	++++
Elasticidad: — Directa	++	+++	+	+++
— Después del envejecimiento	++	+++	+++	++++
Resistencia al impacto				
Resistencia a:	+	+++	++++	++++
Agua	++	+	++++	+++
Disolventes	+	++	+++	++
Acidos	±	++	+++	++
Alcalis				
Mantenimiento:	No hay limitaciones	No hay limitaciones	1 mes	> 24 meses
Repintable sin pretratamiento	+	+	±	+
Puede repintarse con:				
— Alcalis	±	++	±	+
— Clorocaucho	+	+	±	+
— Epoxys				

RECUBRIMIENTOS PARA TANQUES (*)

Cuando se construye o se transforma un buque para el mercado de productos químicos, la eficacia, y por tanto su éxito en el mercado de fletes, dependen de la pintura que se aplique en sus tanques de carga.

Si hiciésemos una encuesta entre los fabricantes de pinturas acerca de cuál sería el cargamento que da más problemas y discusiones, seguramente casi todos seleccionaríamos el METHANOL, especialmente cuando se trata de recubrimientos orgánicos tales como las pinturas epóxidas y las de poliuretano. Considerando que actualmente existen casi 3.000 cargamentos líquidos que se transportan en buques, podemos ver claramente la preocupación de los fabricantes de pinturas para con el METHANOL.

Las estimaciones de demanda de METHANOL varían considerablemente, pero no hay duda alguna de que representa un sector potencial de crecimiento para los armadores. El "boom" que se preveyó hace dos años, no se ha materializado aún y esto ha ido unido a la caída del precio del petróleo. Las previsiones ponen fuerte énfasis en el potencial de las gasolinas/alcoholes sin plomo que lleva consigo el costoso aumento del uso del METHANOL.

¿Cuáles son los problemas que tiene que afrontar el fabricante de pinturas que desee pintar tanques para el transporte de METHANOL? Realmente hay un amplio número que va desde los programas de investigación hasta el buen comportamiento de la pintura durante el servicio.

La naturaleza agresiva del METHANOL puede cambiar dramáticamente la especificación básica de cargamentos. Variando los niveles de acidez, impurezas e incluso el contenido de agua del producto, se marca la diferencia entre el éxito o el fallo del recubrimiento.

No obstante, la temperatura tiene quizá el mayor efecto. El traslado de la producción de METHANOL a climas más cálidos significa que, en ciertos casos, el producto se carga a temperaturas de 40° C. Hasta hace poco, todos los fabricantes de pinturas probaban sus recubrimientos a temperaturas ambientes entre 20 y 30° C. La diferencia de comportamiento con un aumento a 40° C puede ser notable. Por ello, un número considerable de fabricantes limitan la temperatura aceptable a 30° C, lo cual excluye, por supuesto, algunos puntos de producción.

Todas las pinturas epóxidas y poliuretanas consisten en una materia base que reacciona con un agente de curado o catalizador para formar una película homogénea. No obstante, es inevitable la existencia de parte del producto sin curar dentro de la propia película. Los cargamentos de bajo peso molecular penetran a través de la película y pueden tirar de ésta, dejándola con agujeros o quizá peor, haciéndola quebradiza y, por consiguiente, cuarteándola.

Cuando se sumergen en METHANOL, las películas de pintura se hinchan y se ablandan a causa de la absorción del cargamento. En teoría, cuando se quita el METHANOL, el recubrimiento debería volver a su estado inicial. No obstante, pruebas muy complejas realizadas en laboratorio, nos indican que es muy probable que se vea afectado el polímero utilizado en la pintura con resultados dañinos para el recubrimiento cada vez que se carga METHANOL. Por ello es prácticamente imposible que el recubrimiento recupere al 100 % su condición o estado inicial con el resultado final de deterioro total del sistema de pintado.

El tiempo también entra en juego. Cuanto más tiempo se tenga el METHANOL en un tanque, mayor será la penetración del producto en el recubrimiento orgánico, dando como resultado una oxidación bajo el mismo y efecto ósmosis, que terminan por ampollar dicho recubrimiento.

La consecuencia de este fenómeno cuando se cargan posteriormente otros cargamentos menos agresivos es la de un fallo futuro, incluso con cargamentos aceptables para el tipo de recubrimiento existente. Esta puede ser la razón de fallos inexplicables que han ocurrido con algunos recubrimientos orgánicos.

Muchas compañías independientes de análisis y muchos fabricantes de pinturas efectúan sus pruebas en laboratorios mediante paneles o planchas planas en inmersión. PINTURAS INTERNATIONAL encontró que los resultados más reales se obtienen introduciendo en una secuencia de cargamentos diferentes, vigas en forma de "T". Dichas vigas consisten en una plancha a la que se le suelda en una cara otra más pequeña. Los fallos o defectos que no se observan en las zonas planas se hacen evidentes en las soldaduras y zona de aristas. Estos fallos eran más rápidos con cargamentos de bajo peso molecular, tales como el METHANOL.

Efectuadas pruebas mediante este sistema con diferentes recubrimientos de otros fabricantes que admitían en su lista de cargamentos ser compatibles, dieron re-

(*) Por el Departamento Tankcoating de Pinturas International.

sultados desfavorables. Algunos de los defectos observados en el laboratorio han sido también vistos en los tanques de los buques. Ello confirma la validez del procedimiento empleado por PINTURAS INTERNATIONAL.

El traslado de las investigaciones y desarrollos de recubrimientos a la práctica en los barcos, comienza con su aplicación "in situ". En muchos casos se hace difícil aplicar una película de pintura uniforme. Es muy normal encontrarse zonas con doble espesor y zonas con la mitad, y ello debido al factor humano. Un espesor de película en exceso hace que el cargamento quede retenido dentro del recubrimiento más tiempo, incluso con buena ventilación. Ello conlleva a una reacción química entre la carga atrapada y el nuevo cargamento a cargar. En el lado opuesto, una película fina (por debajo de lo recomendado) permite una rápida penetración del cargamento bajo el recubrimiento con la seguridad de que dicho sistema de pintura fallará, como ya se ha explicado anteriormente.

Una vez aplicado el recubrimiento según el standard y espesores establecidos, todavía tenemos algunos aspectos a considerar cuando se trata de un cargamento de METHANOL. Se establecen unos límites estrictos en cuanto a las impurezas permitidas sobre la superficie del recubrimiento antes de cargar el producto. Un método válido es hacer las comprobaciones con permanganato potásico, según se indica por ASTM, norma D1363-84. Así sabremos si existen impurezas. Este procedimiento guarda relación con el tiempo. Cuanto más se tarde en producir la reacción con el permanganato potásico, menos contaminación existente. Con este procedimiento se puede también detectar si se ha quedado retenido o atrapado algún cargamento dentro del recubrimiento. Por ello es muy importante tomar precauciones sobre la secuencia de cargamentos a transportar. Este es el caso respecto a contaminaciones por chloridos y por hydrocarbons, que según el nivel de las mismas serían críticas, si se va a transportar METHANOL.

Hay que reseñar que los recubrimientos orgánicos tienden a absorber más tipos de cargas. No obstante, el mundo de las pinturas sigue llenándose con peticiones sobre recubrimientos que aguanten petróleo, refinados, gasolinas, agua de lastre, productos cáusticos, aceites vegetales y acompañados al final de la lista por el METHANOL. Este tipo de petición no es realista si tenemos en cuenta la dificultad de conseguir una correcta limpieza antes de cargar el METHANOL.

Siempre que el METHANOL vaya a ser el cargamento principal a transportar, la única respuesta razonable es el silicato de zinc como recubrimiento. Cuando el METHANOL se va a llevar, ocasionalmente, las pinturas de poliuretano o phenólicas pueden ser las aceptables. En ambos casos y de cualquier forma, se tendrá en cuenta el resto de los cargamentos a transportar. Debemos hacer ver a los armadores que han de ser realistas en cuanto a sus cargamentos que realmente van a transportar, cuando solicitan un determinado tipo de recubrimiento.

Si es muy poco probable que vayan a transportar METHANOL, no deben ponerlo en la lista de cargamentos, ya que ello puede comprometer a otros tipos de cargamento por ser incompatibles en la secuencia.

(Viene de la pág. 503.)

Preparación mínima de superficie requerida para diferentes sistemas de pintado

Sistema de pintado	Mínima preparación superficie		
	SSPC	SIS 055900	B.S.
1. Pinturas al aceite	SP-2	St 2	2.ª calidad
2. Pinturas base alquídica:			
2.1. Para el interior	SP-3	St 3	3.ª calidad —manual—
2.2. Para el exterior	SP 6-7	Sa 1 - Sa 2	3.ª calidad —chorro—
3. Pinturas al clorocaucho alto espesor:			
3.1. Exterior (no inmersión)	SP-6	Sa 2	3.ª calidad —chorro—
3.2. Inmersión (fondos, tanques)	SP-10	Sa 2 1/2	2.ª calidad —chorro—
4. Breas epoxis-epoxia en general	SP-10	Sa 2 1/2	2.ª calidad —chorro—
5. Silicatos	SP-10 SP-5	Sa 2 1/2 Sa 3	2.ª calidad 1.ª calidad
6. Pinturas de poliuretano	SP-10	Sa 2 1/2	2.ª calidad —chorro—

No obstante, toda persona que trabaja en este campo es consciente de que no hay que escatimar medios y esfuerzos para mejorar el esquema de pintado final.

BIBLIOGRAFIA

— *Instrucciones para la preparación de las superficies que se han de pintar.*

— *Instrucción UNE 005.*

— *Steel Structures Painting Manual* (SSPC). Volúmenes 1 y 2.

— *Svensk Standard SIS 05.59.00* - 1967.

— *International Standardization Organization* (ISO). Normas ISO R-468, ISO 1878, ISO 1879, ISO 1880.

— *L'Association Française de Normalisation* (AFNOR). Normas NFE 05-015, NFE 05-017, NFE 05-051.

— *La rugosidad del granallado y su repercusión en el espesor de la capa de shop-primer*, por Mariano Bustamente Murga.

— *Characterisation of blast-cleaned surfaces and its relation to paint performance*, por Tir Bullet y D. Dagusta. Paint Research Station, Teddrigton, Middlesex.

— *Ancher pattern and its effect on paint performance*, por Joseph Birgos.

— *Aplications manual for paint and protective coating*, por William F. Gross.

LAS PINTURAS DE SILICATO DE ZINC.
SU IMPORTANCIA Y SU PROBLEMATICA

Por Daniel Fernández Morán (*)
Ldo. en Ciencias Químicas

INDICE

1. INTRODUCCION.
2. LA CORROSION DEL ZINC - PAR ZINC-HIERRO.
3. TIPOS DE SILICATOS DE ZINC. CONTENIDO EN ZINC PELICULA SECA.
4. CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES.
5. IMPORTANCIA DE LOS SILICATOS. PROBLEMATICA.
6. DONDE SE APLICAN. ESQUEMAS TIPO.
7. CONCLUSIONES.
8. BIBLIOGRAFIA.

1. INTRODUCCION

Las pinturas de silicato de zinc se vienen empleando en el mundo, aproximadamente, desde la década de los 40, primero en Estados Unidos y después en el resto del mundo.

En España este tipo de pinturas se empieza a comercializar y usar hacia la década de los 70, principalmente por exigencias de los clientes extranjeros después de demostrar los buenos resultados obtenidos en diferentes campos como el industrial, marino, centrales nucleares, etcétera. No obstante, a pesar de ser buenas pinturas, no son una panacea y también tienen su problemática como cualquier pintura.

De todos los tipos de silicato de zinc los más empleados en España son los de base alcohol (etil-silicato), y de todas las pinturas de zinc (orgánicas-inorgánicas) empleadas en EE.UU., aproximadamente, un 25 % pertenecen a este grupo. Por tal motivo en esta conferencia haré más énfasis en este tipo de pinturas.

(*) Jefe Departamento Marina & Mantenimiento Industrial. GLASURIT, S. A.

2. LA CORROSION DEL ZINC - PAR ZINC-HIERRO

¿Por qué se recubre el zinc?

El potencial electroquímico del zinc es sensiblemente más alto que el del hierro (con referencia al electrodo de hidrógeno); zinc - 0,76 volt; hierro - 0,44 volt.

Por lo tanto, vemos que el zinc en contacto con el hierro ocupará una posición claramente anódica (ver figura 1), y en caso de corrosión tendrá lugar una disolución del zinc en beneficio del hierro.

Reacción electrodica	$E^{\circ}_{M^{n+}/M}$ (V)
$K = K^{+} + e^{-}$	- 2.92
$Ca = Ca^{2+} + 2e^{-}$	- 2.87
$Na = Na^{+} + e^{-}$	- 2.71
$Mg = Mg^{2+} + 2e^{-}$	- 2.34
$Al = Al^{3+} + 3e^{-}$	- 1.67
$Zn = Zn^{2+} + 2e^{-}$	- 0.76
$Cr = Cr^{3+} + 3e^{-}$	- 0.71
$Fe = Fe^{2+} + 2e^{-}$	- 0.44
$Cd = Cd^{2+} + 2e^{-}$	- 0.40
$Ni = Ni^{2+} + 2e^{-}$	- 0.25
$Sn = Sn^{2+} + 2e^{-}$	- 0.14
$Pb = Pb^{2+} + 2e^{-}$	- 0.13
$H_2 = 2H^{+} + 2e^{-}$	0.00
$Cu = Cu^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.34
$O_2 + 4H_2O + 4e^{-} = 4OH^{-}$	+ 0.41
$Ag = Ag^{+} + 2e^{-}$	+ 0.80
$Hg = Hg^{2+} + 2e^{-}$	+ 0.85
$Pt = Pt^{2+} + 2e^{-}$	+ 1.2
$Au = Au^{+} + 2e^{-}$	+ 1.68

Fig. 1.—Serie electroquímica de los metales.

En las superficies de hierro recubiertas con zinc, cuando se produce una discontinuidad (daño mecánico, poro, etcétera) en la película protectora de zinc. En este caso, nace una célula galvánica muy activa con abundante formación de productos de corrosión derivados del zinc. Estos se depositan y tienden a bloquear la discontinuidad producida en beneficio del acero.

Es conocido por numerosos investigadores que el zinc en contacto con baños alcalinos o ácidos, sufre lo que se denomina, respectivamente, solubilización alcalina o ácida, lo que da lugar a un sensible aumento en su velocidad de corrosión. Este fenómeno se desarrolla intensamente, sobre todo a pH por debajo de 6 y por encima de 12 (ver figura 2).

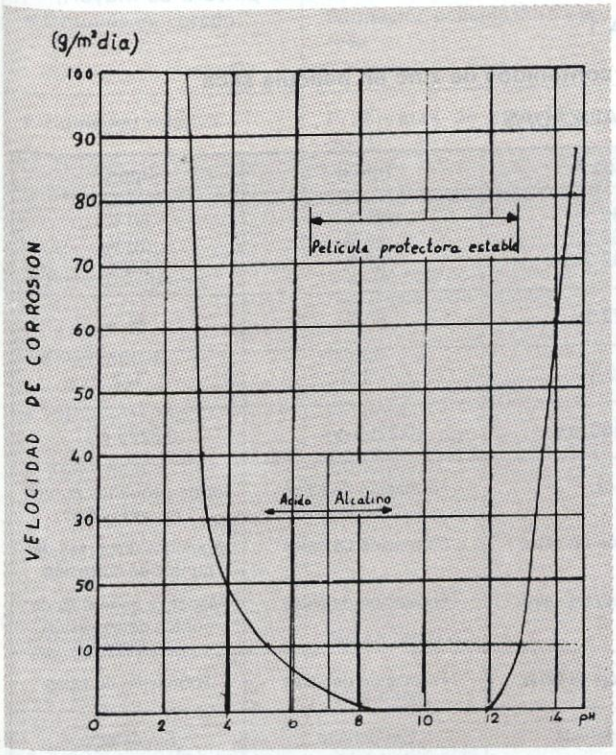


Fig. 2.—Efecto del pH sobre la velocidad de corrosión del zinc.

Por otra parte, el zinc reacciona en ambientes *neutros, básicos* y *ácidos* según las ecuaciones siguientes:

a) Ambiente neutro:

$$2\,Zn + O2 \rightarrow 2\,ZnO + 2\,CO2 +$$

$$+\,H_2O \rightarrow 2\,CO_3Zn \cdot H_2O$$

$$Zn + 2H_2O \rightarrow Zn\,(OH)_2 + H_2 \uparrow$$

b) Ambiente básico:

$$Zn + NaOH + H_2O \rightarrow \underset{\text{(soluble)}}{NaHZnO_2} + H_2 \uparrow$$

$$NaHZnO_2 + H_2O \rightarrow SZn + NaOH + H_2O$$

c) Ambiente ácido:

$$Zn + Cl_2 \rightarrow Cl_2Zn$$

$$Zn + 2\,ClH \rightarrow Cl_2Zn + H_2 \uparrow$$

Cuando el grado de polución de la atmósfera es intenso y/o en ambientes costeros, la velocidad de corrosión del zinc aumenta con rapidez sobre todo por los iones cloruros, formándose sales de zinc de acuerdo con las ecuaciones anteriores.

Por todos estos motivos las pinturas de silicato de zinc (en mi opinión) deben ser recubiertas con otros tipos de pintura. Por supuesto que siempre hay excepciones como el pintado interior de tanques que vayan a contener, por ejemplo, gasolinas.

3. TIPOS DE SILICATOS DE ZINC

Contenido en zinc en película seca

En mi larga experiencia como técnico de pinturas me he encontrado muchas veces con un confusionismo de los siguientes términos: ¿las pinturas ricas en zinc son silicatos?; ¿los silicatos son inorgánicos u orgánicos?; ¿qué es eso de silicatos al agua y al alcohol?; ¿cuáles son mejores?, etcétera.

Por tal motivo, antes de definir los tipos de silicatos, quiero definir muy resumidamente las preguntas anteriores.

Primera pregunta: ¿las pinturas ricas en zinc son silicatos?

Sí, pero también son pinturas ricas en zinc, las orgánicas, tipo epoxi-zinc. La clasificación de pintura rica en zinc, normalmente, viene definido por el contenido del zinc en película seca. La duda está en que no hay una normativa clara al respecto que lo defina. Para mí, una pintura rica en zinc empieza cuando el contenido en zinc en película seca es mayor de 74 %. Pedir a veces como me he encontrado con especificaciones con un contenido > 91 % en zinc película seca lo encuentro muy alto, por los problemas secundarios que pueden traer.

Segunda pregunta: ¿los silicatos son inorgánicos u orgánicos?

Es una de las mayores confusiones que suelen tener los clientes, y a veces entre los mismos técnicos de pinturas. Yo clasifico a los silicatos como todos *inorgánicos* (en sus diferentes tipos) y en cambio como pinturas *orgánicas*, incluyendo a los cauchos clorados, poliestireno, poliuretanos, acrílicos, epoxis, etcétera.

Tercera pregunta: ¿qué es eso de silicatos al agua y al alcohol?

Es cuando los disolventes de los silicatos llevan como componentes en su formulación agua y otros alcohol. En los primeros el vehículo fijo suele ser un silicato de sodio o litio, amonios cuartenarios, y en cambio en el segundo lleva generalmente un etil-silicato, prehidrolizado.

Cuarta pregunta: ¿cuáles son mejores?

Cada uno tiene su ventaja e inconveniente, condicionado por las exigencias del cliente. Así, por ejemplo, para pintar un tanque interior de un buque donde las condiciones de seguridad son máximas, se pintaría con un silicato al agua. En la pregunta siguiente veremos las características más importantes de las mismas.

Uno de los factores importantes que mide la calidad de los silicatos está en el contenido de zinc en película seca. No es solamente éste pero sí uno de los factores claves.

En la Tabla 1 puede verse las diferencias importantes entre tres silicatos al alcohol (etil-silicato) con tres contenidos de zinc diferentes. Tipo A=86 %, Tipo B=81 % y Tipo C=50 %. Sobre todo a los ensayos de cámara de humedad y niebla salina. Estas pruebas son las que me darán el comportamiento anticorrosivo en la realidad cuando se pintase con cada uno de ellos.

Los silicatos de zinc se pueden clasificar según su curado, según el tipo de ligante o según el tipo de disolvente, yo lo haré según esta última forma (ver Tabla 2).

En ambos tipos se suele emplear el mismo tipo de polvo de zinc y/o mezclado con otro pigmento que puede ser hierro o minio.

Dado que el tipo de polvo de zinc es uno de los factores claves en el comportamiento de la calidad de la pintura, daré a continuación algunas de las características que tiene que cumplir el pigmento. Son las siguientes:

Características del polvo de zinc:

— % Zn total mínimo: 97,5 %
— % máximo de óxido de Zn: 6 %
— % Zn metal, mínimo: 94 %
— Impurezas, máximo: 1,5 %
— ∅ partícula: 2-5 micras. (Si se emplea granulometría más basta de 5-15 micras el riesgo de formación de ampollas en la película de pintura es mayor.)

TABLA 1

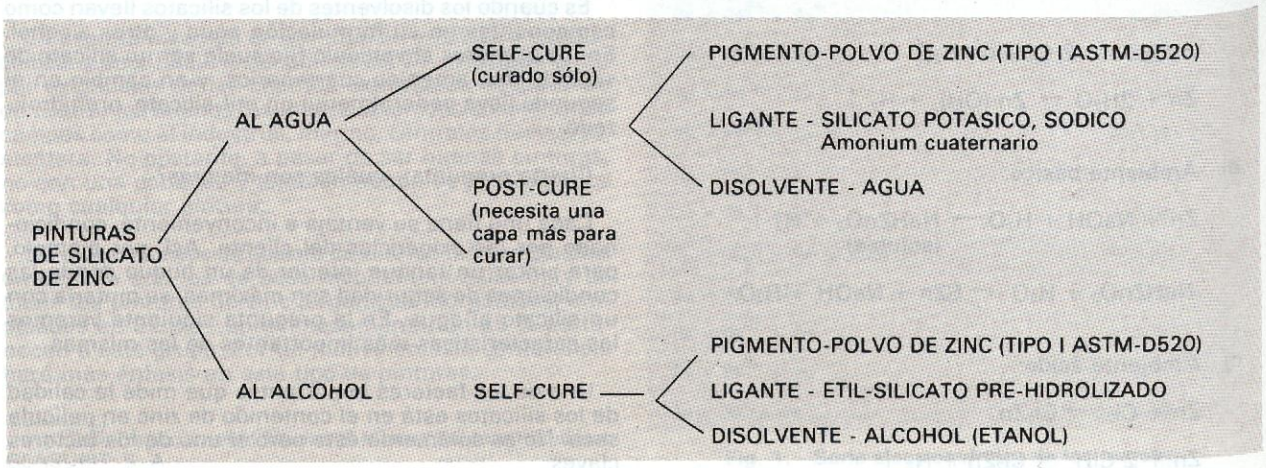
Comparación de tres silicatos con tres contenidos de zinc en película seca

PRUEBAS REALIZADAS

	Tipo A	Tipo B	Tipo C
% de ZINC PELICULA SECA en PESO % de ZINC PELICULA SECA en VOL. % de ZINC en PESO del total del PIGM.	86 % 62 % 92 %	81 % 56 % 87 %	50 % 25 % 55 %
PVC (concentración del pigmento en vol.)	77 %	80 %	78 %
ADHERENCIA 90 micras (SA 2 1/2) INTA 160299	0-1	1	1-2
ABRASION 90 micras CS - 10/250 grs. 1000 ciclos	0,1460 grs.	0,2255 grs.	0,3275 grs.
CAMARA DE HUMEDAD: 1 semana	ok.	Formación de sales	Forma pequeños puntos de corrosión
3 semanas	Formación de sales	Formación de sales	Manchas dispersas de puntos de corrosión
5 semanas	Formación de sales	Formación de sales	Manchas generales de puntos de corrosión
400° C/24 h. + CAMARA DE HUMEDAD: 5 semanas	Formación de sales	Formación de sales	Formación de sales
INMERSION en SAE 30 dur. 7 días a 70° C	Sin defecto	Sin defecto	Sin defecto
NIEBLA SALINA con 105 micras durante 500 h.	Formación de puntos pequeños de sales por toda la plancha	Formación de puntos de sales por toda la plancha	Manchas de puntos de corrosión

TABLA 2

Tipos de silicato de zinc



Además con las partículas finas se consigue mejor uniformidad en la distribución del pigmento en la película seca.

4. CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES

De los dos tipos de silicatos las características más importantes pueden verse en la Tabla 3.

TABLA 3 **Características más importantes**

Características	Silicatos al agua	Silicatos al alcohol	Observaciones
• Secado	Físico/Lento	Físico/Rápido	Por evaporación disolvente
• Curado	Reacción con el CO_2 del aire, es acelerado por ALTAS T.as	Reacción humedad-contenido aire. Se acelera con humedades altas	
• Después de curado	Formación película dura y porosa	Fomación película dura y porosa	Formación sales de zinc, tanto más cuando más cinz lleve en la película seca
• Humedad relativa	Problemas de secado por 80° C	No tiene problemas de secado	
• T.ª Aplicación	No puede aplicarse por debajo de 0° C	Seca por debajo de 0° C	
• Resina/Ligantes	Silicato potasio. Silicato de sodio. Silicato de amonio	Etil-Silicato	Incompatible uno con otro, no mezclar
• Disolventes	Agua	Alcohol	
• Punto Inflamac.	No tiene	Bajo	
• Seguridad	Mínimas	Máximas	Los silicatos al que se suelen aplicar en tanques en sistemas mono-capa. En cambio los del alcohol al exterior combinado con otras pinturas
• Repintado	No se repinta	Problemática	
• Precio	Más caro	Más barato	
• Preparación de superficie	Muy cuidadosa Sa_3 Norma SIS 055900	Cuidadosa $Sa_{2\,1/2}$ Norma SIS 055900	
• Personal de aplicación	Muy especializado	Especialistas	
• Resist. química	Buena	Buena	
• Poder anticorrosivo	Muy bueno	Muy bueno	
• Espesor recomendado película seca	75-100 micras	65-75 micras	
• Tendencia al cuarteo	Mucho	Menos	Por supuesto que depende de los espesores p. seca, equipos, personal, etc.
• Almacenamiento	6 meses	6 meses	Pasado este tiempo comprobar el estado del barniz
• Rugosidad chorreado	Crítica	Normal/Crítica	Conviene definir antes de aplicar la rugosidad chorreado
• Resist. a abrasión	Buena	Buena	
• Tiempo mínimo de repintado		> 24 h.	Depende de humedad y temperatura

5. IMPORTANCIA DE LOS SILICATOS. PROBLEMATICA

La importancia de las pinturas de silicato empiezan a tomar interés en España en la década de los 70. Primero muy timidante y después en los 80 de gran importancia. Aunque los primeros desarrollos fueron hechos en Estados Unidos, casi siempre por empresas multinacionales (Ameron, Esso, Union Carbide, etcétera), bastante aún antes (1940-1950) en España ha costado bastantes esfuerzos en introducir este tipo de pinturas, principalmente, por el precio que era y es más caro que otras pinturas similares.

Sin embargo, hoy día, su uso está ampliamente afincado en el campo industrial (centrales nucleares, refinerías, plataformas petrolíferas, etcétera). En el campo marino su uso es más restringido, ya que normalmente se emplean en cubiertas, interior de tanques, pero no en la obra viva por problemas de ampollamiento, sobre todo cuando el buque lleva instalado protección catódica por corriente impresa. (Así, por ejemplo, la U. S. Navy no tiene homologada estas pinturas para las zonas sumergidas de los buques.)

¿Pero, por qué son importantes estas pinturas?

Principalmente por varios factores, los más importantes son:

— por su gran poder anticorrosivo (lo que hace que los repintados sean mínimos);

— por su resistencia a la abrasión y a la temperatura;

— por hacer de anodo de sacrificio en el par hierro-zinc.

¿Cuál es la problemática de estas pinturas?

Variada e importante, he aquí alguno de los factores que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con las pinturas de silicatos de zinc ya sean al agua y/o al alcohol.

a) Almacenamiento

La estabilidad al almacenamiento del barniz es limitado, unos seis (6) meses, aproximadamente. Hay que tener en cuenta que el pH de este barniz es muy ácido (pH 2.5-5) y si está envasado en hojalata suele atacar al envase. Por otra parte, se hidroliza con la humedad y tiende a aumentar de viscosidad, si es así conviene hacer una prueba de aplicación antes de usar esta pintura.

b) Sólidos en volumen

Debido a la porosidad de la película seca y al empaquetamiento del polvo de zinc es muy difícil calcular los sólidos en volumen de estas pinturas. Aunque hay diversos procedimientos (UNE 48090, ISO-3233, ASTM-D 2697, INTA 160287A, etcétera) los resultados que se obtienen no son muy exactos, e incluso dispares en muchos casos.

c) Aplicación

Este es uno de los factores más delicados de estas pinturas ya que aquí entran diferentes causas, como son:

c).1. Rugosidad del chorreado

Antes de aplicar se debe definir perfectamente la rugosidad que debe de tener la superficie chorreada.

Para los silicatos al agua la rugosidad necesaria debe de estar comprendida entre 40-60 micras y para la de alcohol entre 20-40 micras. Si se obtiene una rugosidad mayor entonces quedan picos sin cubrir donde aparecerá el óxido inmediatamente. En la figura 3 pueden verse perfiles típicos con diferentes abrasivos.

Aunque hay numerosos abrasivos en el mercado, se debe escoger aquel cuya rugosidad se obtenga lo dicho anteriormente.

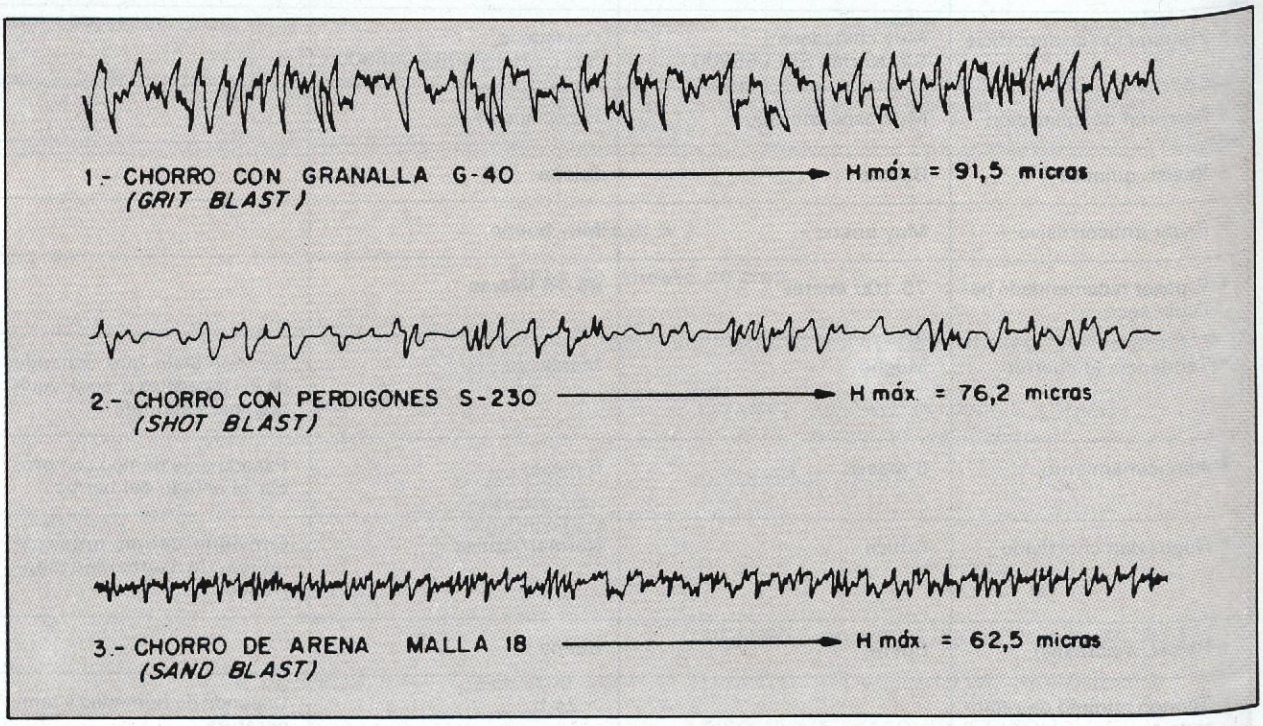


Fig. 3.—Perfiles típicos con diferentes abrasivos.

c).2. Defectos en la aplicación

Debido a la similitud de color de algunas de las pinturas de zinc, con el acero chorreado a metal blanco, a veces es difícil localizar todas las faltas en el área pintada. Encontrándose películas con espesor muy bajo y/o espesor excesivo. Si así fuese, estas faltas deben ser destacadas, corregidas en el mismo momento de la aplicación de las pinturas, porque después es muy difícil y había que chorrear la zona defectuosa.

c).3. Repintados

Uno de los "caballos de batalla" entre los fabricantes y aplicadores lo veremos más detenidamente en el siguiente capítulo.

c).4. Pulverizados, moteados, cuarteados, etc.

Tanto el equipo como el personal debe de ser especializado en la aplicación de este tipo de pinturas, para evitar los defectos anteriores.

La pulverización se ocasiona por un exceso de aire en la atomización, el cual seca las moléculas de pintura líquida, durante el proceso de aplicación de la misma.

También puede ocasionar este defecto, la combinación de alta temperatura y baja humedad atmosférica, así como una elevada temperatura del metal.

La pulverización es un serio defecto, puesto que la naturaleza porosa del film, puede traducirse en una oxidación por puntos o cráteres.

En el moteado se aprecia el polvo de zinc separado del vehículo del silicato, dando a la superficie pintada un aspecto granular. Este defecto puede ser consecuencia de: pintura demasiado gruesa, mala atomización, humedad excesiva en la toma de aire comprimida.

En cuanto al cuarteado puede producirse por varios factores, tales como: espesores película seca muy altos, descolgados, excesivo almacenamiento del barniz.

c).5. Sales de zinc

Toda película de silicato de zinc con el tiempo adquiere unas sales de zinc (ver punto 2 de esta conferencia), sobre la superficie de la misma que es necesario eliminar antes de la aplicación de la primera capa de pintura mediante lavado y cepillado a fondo con agua dulce o bien por medio de chorro de agua a alta presión. Esto encarece la mano de obra, pero es completamente necesario para mejorar la adherencia con las capas posteriores.

6 DONDE SE APLICAN ESQUEMAS TIPO

Ya he dicho antes, que este tipo de pinturas se usan ampliamente en el campo de protección industrial y menos en el marino, ahora bien, falta por definir sitios específicos y esquemas tipo que trataré en este punto.

Dada la enorme dificultad de definir cada uno de los lugares y/o sitios que se pueden encontrar en la práctica, la utilización de estas pinturas se hará de acuerdo con el TIPO DE EXPOSICION A LA ATMOSFERA así, por ejemplo:

6.1. Atmósferas poco agresivas

Después de preparar la superficie de acuerdo con la Tabla 3, se dará una mano de pintura de silicato al agua y/o al alcohol con un espesor, película seca, mínimo de 75 micras. No es aconsejable recubrir con pinturas a estos ambientes. Si por razones estéticas hubiera que hacerlo, tener en cuenta los puntos 6.2 y 6.3.

6.2. Atmósferas agresivas (industriales)

En estos ambientes las pinturas de silicato se les debe recubrir siempre con un esquema adecuado. Ahora bien, debido a la problemática del repintado con otras pinturas, se deberá tener la seguridad de que no haya problemas de ampollamiento; desprendimiento con estas pinturas.

La NACE en su publicación 6H-180, recomienda lo siguiente:

a) emplear un "Wash-Primer", tipo vinil-butiral (MIC-P-15328); o

b) emplear un "Tie-Coat" (selladora), antes de la primera capa de imprimación; o

c) emplear una capa delgada de la misma imprimación a usar, antes de aplicar la primera mano.

Me he encontrado muchas veces con esquemas de alto espesor (100 micras/capa) en los cuales se aplicaban directamente sobre el silicato tipo alcohol.

(Para ahorrar una mano de selladora.) Particularmente pienso que así habrá problemas, dependerá del tiempo que lleve aplicado el silicato, la técnica del personal de aplicación, espesor capa, etcétera. Mi experiencia sobre este tema, haría las siguientes recomendaciones:

1) NO APLICAR NUNCA SOBRE EL SILICATO PINTURAS CONVENCIONALES (tipo al aceite, alquídicas, ester, epoxi, etcétera).

2) CON UN ESQUEMA CLOROCAUCHO SE DEBE APLICAR UN "TIE-COAT" (SELLADORA) CLOROCAUCHO, es decir, SILICATO AL ALCOHOL (75 micras) + SELLADORA CLOROCAUCHO (25-30 micras) + IMPRIMACION CLOROCAUCHO ALTO ESPESOR (100 micras) + ACABADO (30-35 micras).

3) CON UN ESQUEMA EPOXI SE DEBE APLICAR UN "TIE-COAT" (SELLADORA) EPOXI, es decir, SILICATO AL ALCOHOL (75 micras) + SELLADORA EPOXI (25-30 micras) + IMPRIMACION EPOXI ALTO ESPESOR (100 micras) + ACABADO EPOXI (30-35 micras).

El empleo de todas estas capas de acabado sobre el silicato es necesario para producir una impermeabilización contra las condensaciones ácidas y alcalinas que pueden derivarse de la polución del ambiente.

6.3. Atmósferas marinas

Pueden utilizarse sin recubrir, aunque su duración y efectividad serán mayores si se las recubre adecuadamente. Así, por ejemplo, para el pintado exterior de una cubierta pueden usarse estos dos esquemas:

6.3.1. Sin recubrir

— Chorro Sa_3 Norma SIS 055900 + Silicato al agua (espesor mínimo 75 micras).

6.3.2. A recubrir

— Chorro $Sa_{2\,1/2}$ Norma SIS 055900 + Silicato alcohol (65-75 micras) + Selladora epoxi (30 micras);

Imprimación epoxi alto espesor (90-100 micras) + Acabado (30-35 micras).

A veces, por razones estéticas, por seguridad (bandas de amarillo/rojo), por exigencias del cliente (aspecto antideslizante) no hay más remedio que recubrir los silicatos, entonces se deberá tener en cuenta lo dicho en el punto 6.2.

Hay casos especiales como el pintado interior de tanques de combustible que van a contener gasolinas y que están situados en puertos de mar y/o buques que transportan estos mismos productos. Aquí las condiciones de seguridad son máximas, un esquema ideal sería:

— Chorro Sa_3 Norma SIS 055900 + SILICATO AL AGUA (espesor mínimo 75 micras).

Indicar todos los casos posibles que pueden ocurrir en la práctica es una utopía, por eso indico solamente algunos esquemas tipo que pueden servir de idea para el futuro.

Cualquier caso especial se debería consultar al fabricante para dar el esquema más adecuado a las circunstancias.

7. CONCLUSIONES

He pretendido con esta conferencia escribir una serie de datos sobre la importancia de los silicatos y su problemática, porque lo que no me parece ético ni profesional, es que mucha gente al escribir sobre estos temas dejen en el tintero muchos de los problemas que después ocurren en la realidad.

Para quien suscribe, de todas las pinturas usadas en los campos de protección industrial y marino los más delicados en cuanto aplicación son: las pinturas de poliuretano y los silicatos. Para estos últimos se requiere, sobre todo, experiencia en la aplicación, gente cualificada, equipos especiales, etcétera.

Pero los problemas, si los hay, se deben intentar resolver antes de que surjan y no hay mejor cosa para ello que estar preparado y con conocimientos suficientes, porque ya lo dice el refrán, "vale más prevenir que lamentar".

8. BIBLIOGRAFIA

1. *Protección de estructuras de acero mediante silicatos inorgánicos de zinc (I);* por Juan de Dios Izquierdo Díaz. Amercoat España. Química e Industria. Volumen 32. Mayo, 1986.
2. *Pinturas ricas en zinc;* por señores Septien, y Guijarrubia. HAMPEL, S. A. Certamen Nacional de Pinturas Industriales y Equipos de Aplicación (1975).
3. *Procedimientos de inspección, relativos a la aplicación de recubrimientos inorgánicos de zinc;* por J. F. Koehler. HUMBLECIL - Houston-Texas.
4. *Material performance.* March, 1976; por Kenneth. B. TATOR.
5. *Especificaciones ASTM D-520 y SSPC-P-20, ISO-3233, UNE 48090, INTA 160287A.*
6. *Galvanización + Pintura - Problemática del sistema duplex;* por J. C. Galván y M. Morcielo, y S. Feliu... "Rev. Ibe. Corra y Prot.", Vol. XVI, N.° 3 (1985).
7. *Zinc Rich Primer;* por D. M. Berger. "Technology Letter", 117 (1971); "Project", N.° 321, N.° 26.
8. *Shop-primer en la industria naval - Tipos y características;* por D. Fernández Morán. GLASURIT, S. A., 1972.
9. *Preparación de superficies - Influencia de la rugosidad en el esquema de pintado;* por D. Fernández Morán. GLASURIT, S. A., 1985.
10. Inorganic Zinc Coating on Ocean underwater Surfaces; por Daniel H. Geefer. "Ameron Corrosion Control Journal of Paint Technology", Vol. 47, N.° 600, 1975.
11. *Topcoating of Zinc-Rich Primers for Atmosfheric Exposure;* por "Nace Publication 6H180", N.° 54162.
12. *Recent Development in Inorganic Zinc Primer;* por John F. Montle, y Michael D. Haser. "Carboline Company Corrosion H5", paper N.° 74.
13. *Inorganic Zinc Primer: Effect of Porosity on Coverage;* por J. F. Montle. "Carboline Co. St. Jons M. O. Mat. Prot.". April, 1969.

Reflexiones sobre política marítima y planes de viabilidad (*)

Por Gerardo Polo

Quiero, en primer lugar, dar las gracias a los organizadores por su invitación para participar en este acto. Lo han hecho en tanto que miembro del Colegio Oficial de Ingenieros Navales, y creo mi deber puntualizar, desde el primer momento, que, si bien colegiado del mismo desde hace más de veinte años, no me cabe el honor de representarlo y, por consiguiente, mi comunicación no va a recoger, en ningún momento, puntos de vista concretos del Colegio en cuanto tal. Como a lo largo de la mañana se ha hablado tanto y tan a fondo sobre la problemática del sector marítimo, por mi parte trataré de exponer modestamente unas simples reflexiones sobre el tema de la jornada, subrayando, como decía antes, que en todo momento van a ser personales y, por tanto, compartidas o no, oficialmente ajenas a la institución a la que pertenezco. Y con este obligado preámbulo, paso ya al tema de mi comunicación.

Hablar de política marítima y de viabilidad de nuestra marina mercante en estos momentos, casi a finales de 1989, cuando hace tan sólo algunas semanas, previo el trámite reglamentario de su comunicación a la Comisión de las Comunidades Europeas, el Gobierno aprobó la Orden, de 13 de octubre de 1989, por la que se regulan las condiciones, procedimiento y plazos para la aplicación de las ayudas destinadas a los planes de viabilidad de la marina mercante, aconseja dirigir nuestra mirada hacia un pasado no demasiado lejano y contemplar cómo la falta de una verdadera política de marina mercante fue la causa de que la crisis iniciada en 1973 alcanzara los niveles a los que llegó y su duración fuera tan prolongada como para que nos encontremos aquí, hoy, después de más de quince años, hablando en esta Jornada de un tema que otros resolvieron afrontándolo con decisión hace ya bastante tiempo.

Porque, ciertamente, en España no se definieron casi nunca objetivos específicos para el sector marítimo, resultando casi siempre la marina mercante sector subsidiario de la construcción naval, consecuencia, sin duda, del efecto multiplicador de este último sobre las industrias siderúrgica y auxiliar, así como de su fuerte impacto sobre el empleo. Y así, no hubo tampoco directrices, ni estrategia global ni líneas de acción coherentes con los objetivos generales de nuestra economía. De este modo, no sólo no se trató de impedir o frenar el fenómeno de la "sobreinversión" generado como consecuencia de la etapa de fletes altos inmediatamente anterior a la crisis, que abarrotó las carteras de pedidos, sino que, cuando las cancelaciones de contratos, especialmente para la exportación, en los astilleros hicieron temer la aparición del fantasma del paro, no se hizo otra cosa que crear una demanda artificial mediante el Decreto, de 21 de mayo de 1976, convocando un concurso para la construcción en nuestros astilleros de un millón de toneladas de registro bruto con destino a la flota mercante nacional.

Los resultados están en la mente de todos. En realidad no había hecho sino comenzar una etapa de casi completa paralización administrativa de nuestros sectores marítimo y de la construcción naval, puesto que desde esas fechas —metida España de lleno en el proceso de transición democrática hasta prácticamente el año 1984 poco o nada se hizo en política de marina mercante y construcción naval, salvo ir parcheando una situación que iba pudriéndose poco a poco, pese a que a partir de 1975 se producen importantes reducciones de capacidad y de plantillas —superiores a un 30 por ciento— en astilleros japoneses y europeos.

Ello obligó a una "reconversión" muy dura de nuestro sector de la construcción naval a partir del año 1984, con un elevado coste económico y social, pero que fue posible afrontar porque la situación política del país gozaba de una estabilidad de la que anteriormente había carecido. El hecho es que las medidas propuestas a finales de 1983 sobre "reconversión" y "reindustrialización", alumbradas mediante Real Decreto-Ley, y entre las que se encontraba la creación de los llamados Fondos de Promoción de Empleo, sirvieron de punto de partida para unas negociaciones tripartitas entre los empresarios, los representantes sindicales y la Administración que condujeron a la aprobación, a mediados de 1984, mediante Real Decreto, de las medidas de "reconversión" específicas del sector de la construcción naval, base de partida, a su vez, para la posterior aprobación de los planes de viabilidad presentados en su día por los astilleros. El trienio 1985/1987 sufre la primera etapa de la "reconversión" del sector, con una reducción de plantillas próxima al 40 por ciento —desgraciadamente, sin que las cifras de "recolocación" a través de los Fondos de Promoción de Empleo alcanzaran los niveles previstos, lo que provocó la lógica conflictividad laboral— y una paralela reducción de la capacidad de construcción, del orden del 55 por ciento con relación al máximo histórico de un millón de toneladas de registro bruto compensadas, quedando la capacidad de nuestros astilleros en unas 450.000 TRBC. La segunda fase de la tardía "reconversión" del sector de la construcción naval pretende dejar su capacidad en unas 350.000/400.000 toneladas de

(*) Comunicación presentada en la Jornada sobre Política de Marina Mercante y Planes de Viabilidad, organizada por la Escuela de Administración Marítima del Gobierno Vasco, celebrada en Bilbao el día 16 de noviembre de 1989.

registro bruto compensadas a partir de 1990, a la par que conseguir unos costes competitivos a nivel internacional, una vez superadas las fases de forzosa repercusión vía precio —o, en su caso, recuperación vía subvención— de la ineficiencia sectorial.

Entre tanto, la marina mercante ha sufrido un «desmoche" de tal envergadura que ha llevado a temer por su práctica desaparición: de un máximo histórico de 689 buques con 7.639.000 toneladas de registro bruto de flota en 1978 se ha pasado a 452 buques con 3.242.000 TRB en la actualidad (cifras correspondientes a principios del último trimestre de este año), consecuencia, en gran parte, de la misma falta de política marítima a que se aludió anteriormente.

Cierto que se arbitró el Plan de Flota a principios de 1986, primer intento de resolver una situación ya angustiosa en aquellos momentos, pero que resultó tan tímido en sus propuestas como poco generoso a la hora de arbitrar medios y recursos para poner remedio al grave problema de la marina mercante, pese a que hubo casi general unanimidad entre los expertos en que el análisis de la situación era plenamente válido en aquellos momentos y en que el plan contenía un diagnóstico certero de los males que aquejaban al sector marítimo. La conclusión del mismo fue, como es bien sabido, triste, pues no se cumplieron sus objetivos y nuestra flota siguió el proceso de desmantelamiento emprendido años antes. A mediados de 1987 se crea una Comisión Interministerial, integrada por miembros de los Ministerios de Transportes, Turismo y Comunicaciones; Economía y Hacienda, e Industria y Energía y del Banco de Crédito Industrial, y como consecuencia de los trabajos desarrollados por la misma se solicita de las empresas navieras en pleno verano que elaboren y presenten antes del término del mismo planes concretos de viabilidad de sus respectivas empresas, al objeto de poder determinar cuáles y en qué condiciones son potencialmente aptas para enfrentarse al mercado internacional en condiciones de competitividad: se trata de valorar el conjunto de cada empresa, teniendo bien presentes tanto los aspectos económicos de su explotación como los comerciales y de mercado, concediendo especial importancia a la capacidad financiera y a la profesionalidad de la gestión empresarial. Sin embargo, un año después sigue sin saberse nada del asunto, llegándose así al último trimestre de 1988, en que se constituye la Sociedad Estatal de Planes de Viabilidad de la Marina Mercante, que será, en definitiva, la encargada de desarrollar esa labor de ejecución de las actividades necesarias para la realización de los planes de viabilidad de las empresas navieras. A lo largo de este año 1989, la Sociedad Estatal ha venido desarrollando sus funciones, que han culminado con la publicación del Real Decreto, de 13 de octubre último, aludido al comienzo de esta exposición, y la previsible aprobación, precisamente hoy mismo, por la Comisión delegada, del primer paquete de ayudas para el saneamiento del sector. Queda pendiente todavía un importante trabajo, pues han sido alrededor de noventa, con cerca de cuatrocientos buques, las navieras que han presentado planes de viabilidad, como quedará también la posterior labor de seguimiento y control de los mismos, comprobación de su ejecución y del destino de las ayudas que se concedan, etcétera.

Entre tanto, los armadores esperan y confían en las llamadas medidas institucionales, dirigidas fundamentalmente hacia determinados aspectos muy concretos de clara incidencia en la explotación de los buques: medidas que afectan a los costes de las tripulaciones, a la fiscalidad, etcétera, y que, en gran medida, han ido quedando resueltas en otros países de nuestro entorno a través de la creación de los segundos registros.

Ayudas, pues, por parte de la Administración, colaboración de la Banca oficial, medidas institucionales y aportación de fondos por parte de los armadores —en cuantía tal que la subvención que se conceda con cargo al presupuesto del Ministerio de Transportes no supere al de la aportación empresarial—, y todo ello enmarcado en el seno de los correspondientes planes de viabilidad aprobados para cada empresa, configuran el abanico de acciones encaminadas a que las navieras consigan superar determinados males endémicos de nuestra marina mercante: descapitalización de las empresas, atomización del sector, concentración en la explotación de mercados cautivos o semicautivos, costes más elevados que los de sus competidores extranjeros, etcétera.

Es decir, se pretende no solamente que nuestro sector de la marina mercante llegue vivo a 1993, año en que, como es bien sabido, la aplicación de los reglamentos de la Comunidad, de diciembre de 1986, supondrá la casi completa liberalización del transporte marítimo en el seno comunitario, sino que sea una marina mercante competitiva, con costes a nivel internacional y dispuesta a luchar en un mercado abierto en el que no habrá ningún tipo de concesiones.

Y aquí viene mi grave preocupación, que quiero compartir con ustedes: si se llega a 1993 en esas condiciones —y ojalá sea así—, y si nuestro sector de la construcción naval alcanza esa cota de capacidad productiva en términos de tonelaje de registro bruto compensado que se cifra entre las 350.000 y las 400.000 TRBC a la que me referí antes, ¿dispondremos en nuestro país de medios técnicos e infraestructura suficientes para atender a las necesidades de nuestra marina mercante? Porque, no nos engañemos, tenemos una flota que no se caracteriza precisamente por su elevado nivel tecnológico ni por su especial adecuación a los tráficos a los que sirve; una flota, por tanto, con patente necesidad de renovación en muchas de sus unidades para adaptarse a las necesidades de un mercado competitivo. Pero, además, nuestra flota ha alcanzado una edad considerable, puesto que más de las dos terceras partes de su tonelaje ha sobrepasado los diez años de edad y deberá renovarse, lógicamente, por simples consideraciones de orden físico en un plazo medio del orden de los cinco a los diez años. Si nuestra flota no sufre muchas bajas más, la mera renovación de sus efectivos por razón de edad a lo largo de los próximos años puede hacer necesaria una capacidad de construcción en nuestros astilleros del orden de las 300.000 toneladas de registro bruto anuales, y bastante más si a dicha cifra se suman las deseables inversiones correspondientes a renovación tecnológica y, en su caso, de expansión. El problema puede ser considerablemente más grave si de la prevista capacidad de construcción naval española se descuenta alguna parte para cubrir la demanda de buques pesqueros, que ha sido elevada a lo largo de estos años de crisis, así como un porcentaje de la misma para dedicarlo a la exportación. Debe tenerse presente a este respecto que mientras en la Europa comunitaria la "reconversión" se ha venido llevando a cabo con unas carteras de pedidos cubiertas, por término medio, en un 30 por ciento, aproximadamente, por buques destinados a la exportación, en España dicho porcentaje ha estado en torno al 90 por ciento, habida cuenta de la casi absoluta ausencia de demanda generada por nuestra marina mercante. Por otra parte, según datos publicados por ANAVE el pasado mes de julio y que se recogen en el cuadro adjunto, en abril de este mismo año la cartera de pedidos de los distintos países comunitarios representaba, en proporción al tonelaje de sus respectivas flotas, porcentajes muy diferentes entre sí, pero que alcanzaban cifras superiores al 20 por ciento en los casos de Dinamarca y Alemania, sobrepasaba el 12 por ciento en el de Italia y superaba el 11 por ciento en el de Francia, quedando Holanda y Portugal en cifras no lejanas del 9 y 10 por ciento. En España la cartera de pedidos era de tan sólo un 7,6 por ciento del tonelaje total de su flota, pese a que en la misma se incluían dos petroleros, que representaban un 60 por ciento del volumen de la cartera,

(Pasa a la pág. 528.)

NOTICIAS

ASTILLEROS

ESTADISTICAS DE LA O.C.D.E.

La O.C.D.E. ha publicado las estadísticas correspondientes al primer semestre de 1989, tanto de cartera de pedidos como de nuevos pedidos y entregas de buques en los países que participan en el Grupo de Trabajo número 6 "Construcción Naval".

TABLA 1

Nuevos pedidos durante el período enero-junio de 1989
(Miles de toneladas)

Países	GT	CGT
Alemania Occidental	236	283
Bélgica	52	67
Dinamarca	301	224
España	164	202
Francia	4	11
Grecia	0	0
Italia	9	15
Países Bajos	85	165
Portugal	12	24
Reino Unido	97	114
TOTAL CEE	960	1.105
Finlandia	14	44
Noruega	96	236
Suecia	0	2
Total otros países Grupo de Trabajo n.° 6 de Europa	111	281
TOTAL AWES	1.071	1.386
Japón	4.008	2.246
TOTAL G. DE TRABAJO N.° 6	5.079	3.633

TABLA 2

Cartera de pedidos al 30-6-89
(Miles de toneladas)

Países	GT	CGT
Alemania Occidental	937	1.052
Bélgica	108	110
Dinamarca	719	540
España	945	897
Francia	169	280
Grecia	6	9
Italia	1.459	1.356
Países Bajos	281	549
Portugal	94	104
Reino Unido	313	401
TOTAL CEE	5.031	5.298
Finlandia	489	774
Noruega	191	463
Suecia	3	15
Total otros países Grupo de Trabajo n.° 6 de Europa	683	1.252
TOTAL AWES	5.714	6.550
Japón	7.095	3.853
TOTAL G. DE TRABAJO N.° 6	12.809	10.403

TABLA 3

Buques entregados durante el período enero-junio de 1989
(Miles de toneladas)

Países	Núm.	GT	CGT
Alemania Occidental	25	241	239
Bélgica	1	20	23
Dinamarca	14	118	95
España	64	31	106
Francia	10	127	158
Grecia	0	0	0
Italia	15	201	145
Países Bajos	21	36	70
Portugal	6	8	17
Reino Unido	25	52	81
TOTAL CEE	181	834	934
Finlandia	17	127	228
Noruega	23	28	84
Suecia	1	9	18
Total otros países Grupo de Trabajo n.° 6 de Europa	41	164	330
TOTAL AWES	222	998	1.264
Japón	247	2.530	1.711
TOTAL G. DE T. N.° 6	469	3.528	2.975

LA CONSTRUCCION NAVAL MUNDIAL EN EL SEGUNDO TRIMESTRE DE 1989

Según las estadísticas del Lloyd's Register of Shipping, correspondientes al segundo trimestre de 1989, la cartera de pedidos de los astilleros mundiales ha aumentado en 2.204.596 GT durante ese período, quedando en 27.336.535 GT. Se prevé que el 81 por 100 de esa cartera se entregará antes de que finalice 1990.

Se han contratado durante el trimestre 5,2 millones de GT que es, aproximadamente, 2,1 millones más que las entregas en el período.

Cartera de pedidos al 1 de julio de 1989

Países	Núm.	GT	
Japón	424	7.797.861	(+ 1.789.436)
Corea del Sur	170	6.518.365	(+ 32.799)
China Rep. Popular *	77	862.176	(— 6.725)
China (Taiwán)	17	1.019.300	(+ 276.000)
Yugoslavia	63	1.442.626	(+ 22.582)
España	213	1.215.724	(+ 325.998)
Brasil	46	1.014.790	(— 719)
Polonia	154	989.129	(— 24.706)
Alemania Federal	74	807.526	(— 32.725)
Italia	79	785.349	(— 121.310)
Dinamarca	61	776.913	(— 87.118)
Finlandia	29	596.092	(— 85.336)
Rumania *	35	580.082	(— 7.756)
Alemania Oriental *	51	541.977	(+ 98.760)
India	74	278.959	(— 16.785)
Reino Unido	49	253.259	(— 27.177)
Países Bajos	101	225.218	(— 16.224)
TOTAL MUNDIAL	2.355	27.336.535	(+ 2.204.596)

(*) Datos incompletos.

El número total de buques comenzados ha sido de 401 con 4.192.140 GT (2.445.976 GT en el trimestre anterior), el número de buques botados ha sido de 401, con 3.229.568 GT (2.239.199 GT en el trimestre anterior), y el número de buques entregados ha sido 381, con 3.038.816 GT (3.041.094 GT en el trimestre anterior).

Hay 1.307 buques en construcción con 12.300.339 GT que es 1.202.2755 GT más que en el trimestre anterior. El número de buques comenzados es de 1.048 con 15.036.196 GT que es superior en 1.002.321 GT al del trimestre anterior.

Los países que han aumentado más su cartera de pedidos han sido República de China (Taiwán), España y Japón, mientras que han registrado importantes descensos las de Italia, Finlandia y Dinamarca.

Los petroleros y otros buques tanque representan el 37,9 por 100 de la cartera total, los graneleros el 28,8 por 100 y los cargueros el 17,8 por 100, y dentro de estos últimos el 58,8 por 100 son portacontenedores.

Los transportes de gas licuado alcanzan casi 1,6 millones de GT con 1,6 millones de metros cúbicos de capacidad. El país que tiene mayores pedidos es Japón con el 69,6 por 100 del tonelaje y el 70,1 por 100 de la capacidad total.

El mayor buque entregado en el trimestre fue el petrolero "World Prime", de 276.052 TPM y 143.941 GT, construido por Daewoo Shipbuilding & Heavy Machinery Ltd. También en Corea se ha entregado el mayor buque de carga seca, el granelero "Dahlia", de 207.000 TPM y 106.000 GT, construido por Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. En el astillero rumano Constanzza se ha entregado el granelero "Comanesti" de 171.875 TPM y 91.185 GT, que es el mayor buque construido en el país.

En el astillero japonés Nagasaki Shipyard de Mitsubishi Heavy Industries Ltd., ha sido entregado el "Northwest Sanderling", primero de una serie de siete buques para el transporte de gas licuado, de 105.010 GT y 125.000 m³, a un consorcio de armadores australianos.

Buques entregados en el segundo trimestre de 1989

Países	Núm.	GT
Japón	158	1.000.524
Corea del Sur	34	994.403
Italia	10	123.249
Dinamarca	9	104.520
Alemania Federal	12	102.359
Rumania *	2	95.063
Finlandia	11	92.969
China (Taiwán)	2	77.736
Yugoslavia	4	61.210
China Rep. Popular *	3	56.425
Polonia	12	51.818
Francia	7	32.673
Reino Unido	9	31.141
Alemania Oriental *	2	30.335
Méjico	1	23.236
Países Bajos	17	22.890
Bélgica	1	19.719
Argentina	5	19.372
URSS *	1	18.625
India	3	16.785
España	26	10.044
TOTAL MUNDIAL	381	3.038.816

(*) Datos incompletos.

En astilleros japoneses se han entregado dos buques de cruceros para armadores nacionales: el "Fuji Maru" de 23.340 GT (603 pasajeros) por el astillero Kobe de Mitsubishi Heavy Industries Ltd., y el "Oceanic Grace" de 5.218 GT (120 pasajeros) por el astillero Nippon Kokan's Tsu Shipyard.

A operadores europeos se han entregado tres nuevos ferrys de pasajeros/coches: el "Danielle Casanova" de 30.900 GT (2.600 pasajeros y 600 coches) por Chantiers de l'Atlantique, el "Athena" de 35.000 GT (2.200 pasajeros y 620 coches) por el astillero Turku, y el "Isabella" de 37.500 GT por el astillero Brodogradiliste Split de Yugoslavia.

(Viene de la pág. 526.)

unidades que fueron contratadas con el incentivo de la contrapartida del desguace.

Estos son los hechos y estas son las cifras. Se podrá argumentar, sin duda, que puede tenerse una poderosa marina mercante sin necesidad de un paralelo sector de la construcción naval, especialmente en un mercado libre, abierto y competitivo. Y es así. Pero, ¿era necesario llegar a este punto? ¿No deberían ir la construcción naval y el transporte marítimo de alguna manera al unísono, guiados por una acción política que, sin ser de una ni de otro, fuera de todo el sector marítimo, una política marítima, en el más amplio sentido de la palabra?

Hasta aquí mis reflexiones, muy breves, como se me ha pedido por parte de los organizadores. Si las mismas contribuyen, modestamente, a aportar ideas o aclarar algún punto de vista de quienes asumen responsabilidades decisorias en estos temas o, simplemente, sirven de estímulo para profundizar en el estudio de la problemática del sector marítimo, se habrán cubierto ampliamente los objetivos que me condujeron a aceptar la invitación.

Muchas gracias.

Flota mercante y cartera de pedidos de los distintos países de la Comunidad Económica Europea en abril de 1989

	Flota (TRB)	Cartera de pedidos (TRB)			Pedidos/Flota
		Astilleros nac.	Astilleros extr.	Total	
Alemania	3.529.400	331.370	385.361	716.731	20,3 %
Bélgica	3.243.300	66.000	32.350	98.350	3,0 %
Dinamarca	4.498.000	632.946	307.651	940.597	20,9 %
España	3.401.000	260.105	0	260.105	7,6 %
Francia	3.974.900	60.495	385.090	445.585	11,2 %
Grecia	21.286.300	43.295	158.690	201.985	0,9 %
Holanda	3.005.600	197.404	58.787	256.191	8,5 %
Irlanda	122.000	0	370	370	0,3 %
Italia	7.101.800	895.799	0	895.799	12,6 %
Portugal	600.300	55.853	387	56.240	9,4 %
Reino Unido	7.000.100	116.920	148.431	265.351	3,8 %
TOTAL	57.762.700	2.660.187	1.477.117	4.137.304	7,2 %

Fuente: ANAVE.