

# Resistencia a la corrosión atmosférica del recubrimiento Zn-10,2 % Fe sobre chapa de acero. Comparación con el recubrimiento de zinc

G. Arnau<sup>(\*)</sup>, E. Giménez<sup>(\*)</sup>, M.V. Rubio<sup>(\*)</sup>, J.J. Saura<sup>(\*)</sup> y J.J. Suay<sup>(\*)</sup>

**Resumen** Se estudia el comportamiento a la corrosión atmosférica de un recubrimiento Zn-10,2%Fe galvanizado en caliente, comparándolo con el comportamiento ofrecido por la chapa galvanizada, habiéndose aplicado ambos recubrimientos sobre chapa de acero de embutición. Se han realizado ensayos de exposición atmosférica en distintas atmósferas de la Comunidad Valenciana y ensayos acelerados de laboratorio en cámara de niebla salina. Se han empleado simultáneamente probetas testigo de acero con el fin de clasificar la corrosividad de las atmósferas, y se han estudiado las características medioambientales de las atmósferas donde se han llevado a cabo los ensayos. Mediante estos estudios se han obtenido las velocidades de corrosión y se han analizado en función de los parámetros ambientales.

Palabras clave: **Corrosión atmosférica. Zinc. Hierro. Galvanizado. Aleación.**

## Zn-10.2 % Fe coating over carbon steel atmospheric corrosion resistance. Comparison with zinc coating

**Abstract** Zn-10.2% Fe galvanized coating versus hot galvanized coating over carbon steel corrosion performance has been studied. Different periods of atmospheric exposures in various Valencia Community sites, and salt spray accelerated test have been done. Carbon steel test samples have been used simultaneously in order to classify exposure atmosphere corrosivity, and medioambiental exposure atmosphere characteristics have been analyzed. Corrosion velocity versus medioambiental parameters has been obtained.

Keywords: **Atmospheric corrosion. Zinc. Iron. Galvanized. Alloy.**

### 1. INTRODUCCIÓN

La chapa de acero galvanizada en caliente es el producto revestido más ampliamente utilizado, existiendo una extensa gama de espesores de recubrimiento para satisfacer los distintos requerimientos de resistencia a la corrosión. En industrias como el automóvil, donde la conformabilidad, soldadura por puntos (1) y pintabilidad (2 y 3) son requisitos clave, espesores superiores a 6  $\mu\text{m}$  pueden plantear problemas.

El recubrimiento Galvannealed (aleado Fe-Zn) se obtiene por calentamiento de la chapa galvanizada

entre 500 y 550 °C durante 10 s, tras emerger del baño de galvanizado, gracias a un proceso de difusión térmica. El contenido de hierro en el revestimiento aleado que se obtiene está usualmente entre un 9 y un 12 %, y el espesor del revestimiento oscila entre 5 y 11  $\mu\text{m}$ .

El recubrimiento Galvannealed aporta varias ventajas sobre el acero galvanizado: buen aspecto superficial y mejor pintabilidad (4), mejor soldabilidad por puntos (1) y buena resistencia a la corrosión, especialmente en la condición de pintada (5-7).

Actualmente, esta aleación se utiliza en distintos componentes del automóvil, piezas de motor, cerrajería, etc., constituyéndose como alternativa en aplicaciones en las que se venía empleando chapa de acero galvanizada. En la protección anticorrosiva que aporta el recubrimiento de Zn-Fe influyen

(\*) Área de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica. Unidad Predepartamental de Tecnología. Univ. Jaume I. Campus Penyeta Roja. 12071-Castellón (España).

mucho las características de la aleación utilizada, aunque se conoce que, en algunos casos, esta protección puede superar a la aportada por el recubrimiento de zinc (8 y 9).

En este trabajo, se estudia el comportamiento a la corrosión atmosférica de un recubrimiento Zn-10,2 % Fe (Galvannealed), fabricado en España por SIDMED, comparándolo con el comportamiento ofrecido por la chapa galvanizada, también fabricada por SIDMED. Se han realizado ensayos de exposición atmosférica en distintas atmósferas de la Comunidad Valenciana y ensayos acelerados de laboratorio en cámara de niebla salina. Asimismo, se ha evaluado la degradación estética para distintas atmósferas, realizando la medida de las características de brillo de las superficies de ambos recubrimientos para diferentes tiempos de exposición.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Materiales

Para la experimentación se eligieron chapas comerciales de acero al carbono de calidad FeP06 de 0,70 mm de espesor medio para el caso del Galvannealed, y de 0,67 mm para el galvanizado. Analizando el espesor del recubrimiento en estas láminas, se encontró que para el Galvannealed era de 4,8  $\mu\text{m}$ , mientras que para el galvanizado era de 6,7  $\mu\text{m}$ .

### 2.2. Ensayos de exposición atmosférica

Las estaciones de ensayo de exposición atmosférica se situaron en cinco lugares de la Comunidad Valenciana: Castellón, Grao de Castellón, Villarreal, Onda y Morella, cuyas atmósferas podrían ser: urbana, marina, semiindustrial (tercera y cuarta) y rural, respectivamente. Con el fin de correlacionar los datos de corrosión de los materiales con la corrosividad de las distintas atmósferas, se expusieron simultáneamente probetas de acero. Según ISO (10), que clasifica las atmósferas en cinco categorías de corrosividad, las cinco estaciones tendrían corrosividad baja (categoría C2).

En la tabla I aparecen las características medioambientales de las atmósferas en las que se llevaron a cabo los ensayos. Los valores de  $\text{SO}_2$ , cloruros y tiempo de humectación (TDH) (número de horas en las que, simultáneamente, la humedad relativa es igual o superior a 80 % y la temperatura mayor de 0 °C), son valores medios correspondientes al primer año de exposición de los materiales. La determinación de los contaminantes en la atmósfera se llevó a cabo mediante el cilindro captador sobre pasta de bióxido de plomo, para el dióxido de azufre, y con

TABLA I.— Datos medioambientales correspondientes a las cinco atmósferas donde se llevaron a cabo los ensayos de exposición natural

TABLE I.— Environmental data of the five atmosphere where natural exposure testing were done

	TDH (h/año)	$\text{SO}_2$ (mg/m <sup>2</sup> día)	$\text{Cl}^-$ (mg/m <sup>2</sup> día)
Castellón	4449	4.386	4.036
Grao	6263	4.021	18.739
Villarreal	4427	2.987	6.075
Onda	4371	3.117	4.331
Morella	3792	3.06	4.436

el dispositivo de la “candela húmeda” para los iones cloruro (11).

La norma ISO (10) establece un criterio de clasificación de las atmósferas en cuatro categorías, según la cantidad de sustancias que contienen azufre, representadas por dióxido de azufre ( $P_0$  a  $P_3$ ), y según la salinidad, representada por los iones cloruro ( $S_0$  a  $S_3$ ). Siguiendo esta clasificación, todas las atmósferas pertenecen a la categoría más baja ( $P_0$ ) de contenido en azufre. Por otro lado, la atmósfera del Grao de Castellón es la que presenta mayor componente marina (18 mg/m<sup>2</sup>día), perteneciendo, sin embargo, todas las estaciones a la misma categoría ( $S_1$ ). Esta atmósfera es, además, la que presenta el tiempo de humectación más alto, factor que, como es sabido, favorece el desarrollo de la corrosión de los metales en la atmósfera.

Las probetas con los recubrimientos a ensayar tenían unas dimensiones de 10 × 15 cm<sup>2</sup>, y se expusieron en bastidores tipo Hudson. Antes de su exposición, las probetas se matricularon, desengrasaron, pesaron (12) y fue medido su brillo según ASTM (13).

Las determinaciones gravimétricas se realizaron para cada una de las probetas de ambos materiales (Galvannealed y galvanizado) que iban a ser expuestas. Se realizó la retirada de tres muestras de cada material a los 6, 9 y 15 meses de exposición. Posteriormente, se eliminaron los productos de corrosión sumergiendo las probetas en disoluciones específicas, según tiempos determinados (14), calculándose, a partir de las nuevas determinaciones gravimétricas, el grado de corrosión que cada serie de muestras había experimentado (15).

### 2.3. Ensayos acelerados de corrosión

Se realizó un ensayo de niebla salina (exposición a una solución pulverizada de cloruro sódico al 5 %) (16) para conocer de forma más rápida el comportamiento frente a la corrosión de ambos

materiales. Las probetas utilizadas para estos ensayos tenían las mismas dimensiones que las de exposición atmosférica 15 × 10 cm<sup>2</sup>. Los bordes fueron recubiertos por pintura pelable que era eliminada antes de sumergirlas en las disoluciones destinadas a eliminar los productos de corrosión. La duración total del ensayo fue de 384 h.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Exposición atmosférica

En la figura 1 se representa gráficamente el grado de corrosión experimentado por los recubrimientos para las distintas atmósferas y períodos de exposición. Asimismo, en la figura 2, se muestra la evolución con el tiempo de la corrosión que presentan los recubrimientos.

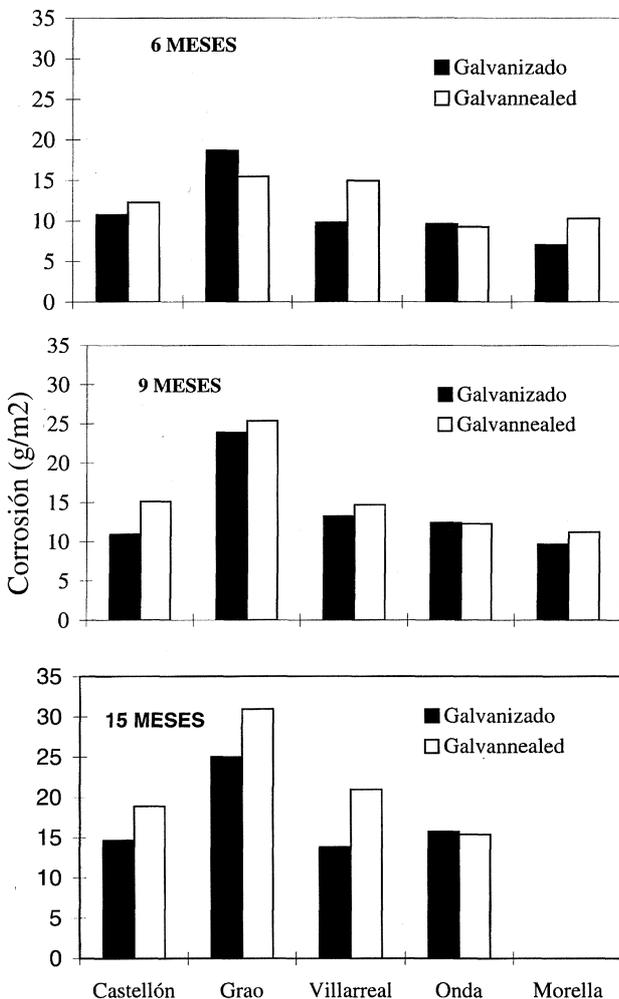


FIG. 1.— Corrosión (g/m<sup>2</sup>) de los recubrimientos Galvannealed y galvanizado después de 6, 9 y 15 meses de exposición atmosférica.

Fig. 1.— Galvannealed and galvanized corrosion (g/m<sup>2</sup>) after 6, 9 and 15 months atmosphere exposure.

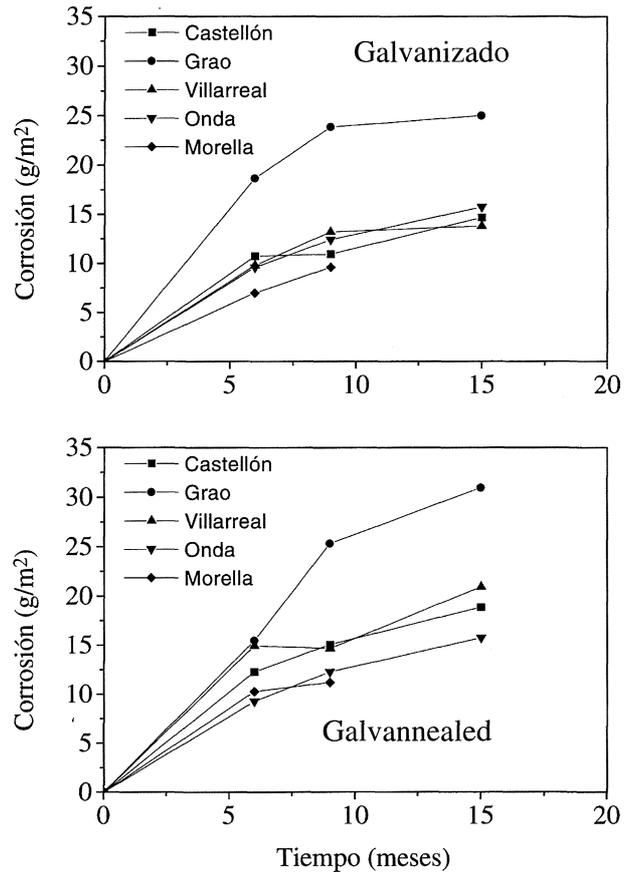


FIG. 2.— Evolución con el tiempo de la corrosión experimentada por los recubrimientos en las cinco atmósferas donde se llevó a cabo el estudio.

FIG. 2.— Coat corrosion evolution versus time at the five atmosphere where the study was done.

Las muestras de la estación ubicada en Grao de Castellón presentan los mayores índices de corrosión, como se podía prever por el elevado tiempo de humectación y la mayor concentración de cloruros que presenta su atmósfera. Por otro lado, las muestras situadas en la estación de Morella (con los menores valores de TDH, cloruros y SO<sub>2</sub>), presentan los menores índices de corrosión.

Los recubrimientos de Galvannealed muestran, en general, para las diferentes recogidas, valores promedios de corrosión superiores a los encontrados en el galvanizado, con la excepción de la estación de Onda, donde los resultados, en todos los casos, son muy similares para ambos recubrimientos.

Sin embargo, los resultados muestran diferencias según las características atmosféricas y contaminantes existentes en cada estación. Así, se observa que el Galvannealed tiene, después de 9 meses de exposición, desde un 6 % (Grao) hasta un 27 % (Castellón), mayor corrosión que el galvanizado. Por otro lado, los resultados obtenidos a los 15 meses de exposición, muestran que el Galvannealed

supera en corrosión al galvanizado entre un 24 % (Grao) y un 52 % (Villarreal).

La figura 3 muestra la progresiva pérdida de brillo para ambos recubrimientos en función de las diferentes estaciones y tiempo de exposición transcurrido. La uniformidad y el buen aspecto superficial del zinc (los cristales de zinc puro son muy lisos), se manifiesta en valores de brillo de 65 antes de realizar la exposición, frente al recubrimiento Zn-Fe, con aspecto superficial mate y brillo de 13, debido a los gruesos cristales de fase  $\delta$  hexagonal compacta (17). El brillo, tanto en el galvanizado como en el Galvannealed, a los 9 meses se ha reducido en todos los casos en más de un 50 % y a los 15 meses en más de un 75 %, no encontrándose marcadas diferencias en función de la atmósfera de exposición.

### 3.2. Ensayos acelerados de corrosión

Realizando un examen visual de las probetas, cabe destacar un mejor comportamiento inicial de

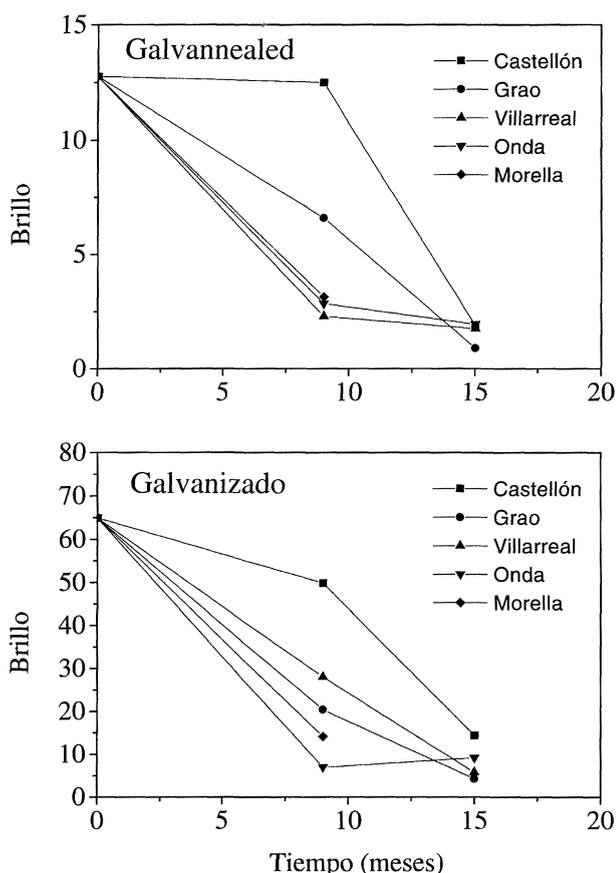


FIG. 3.— Evolución con el tiempo del brillo experimentada por los recubrimientos en las cinco atmósferas donde se llevó a cabo el estudio.

FIG. 3.— Coat bright evolution versus time at the five atmosphere where the study was done.

las muestras galvanizadas. En efecto, la superficie del material Galvannealed se recubre de productos pardos oscuros prácticamente a partir de las 20 h de ensayo, mientras que en el galvanizado, estos productos aparecen bastante más tarde (120 h). No obstante, ambos materiales se recubren desde las primeras horas de ensayo de productos blancos que ocupan toda la superficie de ensayo. Tal y como transcurre el ensayo, el aspecto visual de ambos recubrimientos se uniformiza, llegando a no mostrar grandes diferencias entre ellos.

Los datos de corrosión obtenidos (Fig. 4) muestran comportamientos similares de resistencia a la corrosión de ambos recubrimientos, si bien es cierto que, en general, las muestras galvanizadas parecen mostrar mayores resistencias.

### 4. CONCLUSIONES

Se ha observado que en todas las atmósferas en donde se ha llevado a cabo este estudio, el recubrimiento Zn-10,2 % Fe tiene menor resistencia a la corrosión atmosférica que el recubrimiento galvanizado. Después de 15 meses de exposición atmosférica, el recubrimiento Galvannealed experimenta un grado de corrosión que, dependiendo del tipo de atmósfera, llega a ser hasta un 52 % superior al recubrimiento de zinc.

En los ensayos acelerados, el Galvannealed también presenta menor resistencia a la corrosión que el recubrimiento galvanizado, sobre todo para tiempos de ensayo inferiores al fallo de los recubrimientos.

Se ha observado en todas las atmósferas estudiadas una fuerte reducción del brillo, tanto en el recubrimiento de zinc de elevado brillo, como en el recubrimiento de Galvannealed. Después de 15

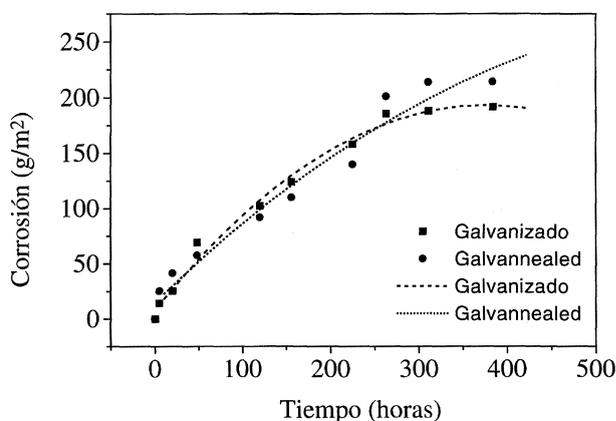


FIG. 4.— Representación gráfica de los datos de corrosión obtenidos en el ensayo de niebla salina.

FIG. 4.— Salt spray coating resistance data graphics.

meses de exposición, en todas las atmósferas se ha reducido el brillo en más del 75 %.

### Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a la empresa SIDMED S.A. por el apoyo y colaboración prestados, así como a la *Fundació Caixa Castelló BANCAIXA*, Proyecto P1A95-12, por los medios económicos suministrados, sin los cuales este proyecto no hubiese podido realizarse.

### REFERENCIAS

- (1) FRIEDMAN, L.M. y MCCANLEY, R.B. *Welding J.*, 48, 1969: 454.
- (2) SCHNEDLER, P.E. *Met. Prog.*, 99, 1971: 80.
- (3) KOKUBO, T. *Tech. Bull.*-1115 Kobe Steel, Ltd. 1987.
- (4) TRAPP, F.E. *J. Paint Technol.*, 39, 1987: 225
- (5) MIYOSHI, Y. *JISI Japan* 66, 1980: 90
- (6) FRANKS, L.L. "Paintability Performance of Metallic Coated Steels", SAE Paper N° 83819 (1983).
- (7) LANDRIAULT, J.P. "A Comparison of Thermally Alloyed Zinc-Iron Coatings Produced by Mechanical Wiping to those Produced by Post-Coating Annealing", 25th Conf. Metallurgists, Toronto (Canadá), 1986.
- (8) ROPER, ME. y O'GRADY, J. *Pinturas acabados*, 4, 1996, 14-16.
- (9) CROTTY, D. *Met. Finish.*, Septiembre, 1996, 54-58
- (10) ISO 9223, International Standards Organization, 1992.
- (11) ISO 9225, International Standards Organization, 1992.
- (12) ASTM G 50-76, American Society for Testing and Materials, 1992.
- (13) ASTM D 523-89, American Society for Testing and Materials, 1989.
- (14) MORCILLO, M., PALMA, E., ESPADA, L. y PORRO, A. Mapas de España de Corrosividad Atmosférica, M. Morcillo y S. Feliú, (Eds.) Madrid, 1993, 235-249.
- (15) ASTM G1-90, American Society for Testing and Materials, 1994.
- (16) ASTM B 117-90, American Society for Testing and Materials, 1990.
- (17) TOWNSEND, H.E. "Continuous Hot O.p Coatings", Volume 5, ASM, 1994: 345.