

## Construcción en madera: influencia de los protectores de madera basados en sales hidrosolubles en la corrosión de herrajes metálicos

### *Construction in wood: influence of the preservative wood based on hidrosolubles salts in the corrosion of metal fasteners*

Milagrosa Borrallo Jiménez\*

#### RESUMEN

Las sales hidrosolubles son uno de los productos empleados para el tratamiento de la madera en profundidad que se vienen utilizando desde hace décadas con excelentes resultados. Sin embargo, investigaciones realizadas, principalmente con CCA, por Cross, J. & Bailey, G. (1989) entre otros, demuestran que pueden ser corrosivas para los herrajes metálicos empleados en la construcción en madera, a causa de algunos de los productos químicos que contienen y el sistema de protección con el que se aplican -Autoclave-.

En España, la entrada en vigor del Real Decreto 1406/1989 prohíbe la comercialización y el uso de compuestos de arsénico desde el 30/06/2004, salvo excepciones. Esto ha obligado a las empresas a reemplazar definitivamente a productos utilizados hasta ese momento que contenían sustancias tóxicas como el cromo y el arsénico (CCB, CCA, etc.) por productos compuestos de otras sustancias no tóxicas, como el ACQ (sales de amonio cuaternarias). De estos nuevos productos se tienen escasos datos sobre su comportamiento y en concreto, sobre su compatibilidad con los metales con los que están fabricados los herrajes utilizados para la construcción actual en madera.

Este trabajo hace un estudio comparativo del comportamiento corrosivo de tres protectores hidrosolubles (CCA, CCB y ACQ) hacia distintos metales (acero galvanizado y acero inoxidable). La evaluación se ha realizado a través del resultado de un ensayo de corrosión acelerada a corto plazo en atmósfera artificial de corrosión rápida. Las conclusiones del trabajo llevan a afirmar que los tratamientos de madera hidrosolubles aceleran la velocidad de corrosión de los metales, aunque con algunas diferencias entre ellos.

850-5

**Palabras clave:** corrosión, herrajes, madera, protectores sales hidrosolubles.

#### SUMMARY

*The hidrosolubles salts are one of the products used for the treatment in depth of the wood that come using for decades with excellent results. Nevertheless, realized investigations, principally with CCA, for Cross, J. and Bailey, G. (1989), among others, demonstrates that it can be corrosive for the metallic fasteners used in the construction in wood, because of some of the chemical products that they contain and the protection system with which Autoclave is applied.*

*In Spain, the Real Decrete 1406/1989, that prohibits the marketing and the use of compounds of arsenic from 30/06/2004, except exceptions, has forced to the companies to replace definitively the products used up to this moment that were containing toxic substances as the chrome and the arsenic (CCB, CCA, etc.) for products consisted of other not toxic substances, as the ACQ (salts of amonio quaternary). Of these new products scanty information is had on their behavior and specially, on their compatibility with the metals which are made the fasteners used for the current construction in wood.*

*This work does a comparative study of the corrosive behavior of three hidrosolubles protectors (CCA, CCB and ACQ) towards different metals (galvanized steel and stainless steel). The evaluation has been realized across the result of a test of accelerated corrosion in the short time in artificial atmosphere of rapid corrosion. The conclusions of the work lead to affirm that the treatments of wood hidrosolubles accelerate the speed of corrosion of the metals, though with some differences between them.*

**Keywords:** corrosion, fasteners, wood, preservative treated salts.

\*Doctor Arquitecto. Profesora Colaboradora del Departamento Construcciones Arquitectónicas I. E. T. S. Arquitectura. Universidad de Sevilla (España)  
Persona de contacto/Corresponding author: milagrosa.borrallo@gmail.com (Milagrosa Borrallo)

## 1. INTRODUCCIÓN

La combinación de dos materiales tan distintos, madera y metal, ocasiona actualmente en la construcción en madera, una serie de defectos y daños que no se producían cuando las uniones se realizaban de forma tradicional, mediante estereotomía o cortes en la madera. Entre ellos:

- Peor comportamiento ante el fuego.
- Peor comportamiento en lugares con importantes cambios térmicos, por la diferente conductividad de ambos materiales y los cambios dimensionales derivados.
- Disminución de la vida útil en las estructuras de madera situadas a la intemperie y principalmente en ambientes agresivos, como el mar o la industria, por la aceleración de la corrosión de los elementos metálicos de acero, si no están debidamente protegidos (Fig.1).

A esta combinación de materiales se pueden añadir otros agentes externos potencialmente corrosivos para los metales como son algunos protectores de madera, principalmente los basados en sales hidrosolubles de cobre, tal como lo demuestran investigaciones realizadas por el Building Research Establishment (BRE) (1985) (2) o Cross, J. & Bailey, G. (1989) (4).

Se sabe que en los tratamientos con CCA (Cobre, Cromo y Arsénico), dos son los elementos que aceleran el proceso de corrosión. Por un lado, el electrolito adicional (sulfato de sodio) que se produce en las reacciones de

fijación del protector y, por otro, el componente cobre del mismo. Su aplicación resulta peligrosa si el contacto metal-madera tratada se produce antes de que se hayan fijado las materias activas del tratamiento o antes de que la madera haya alcanzado su humedad de equilibrio higroscópico.

Otro aspecto que se une a los anteriores es que los protectores hidrosolubles humedecen la madera durante su aplicación, alcanzando una humedad por encima del 20%. Deberá reducirse, por tanto, el contenido de humedad antes de ser usada en contacto con metales, para evitar problemas de corrosión.

Si bien son muchos los datos que se tienen sobre la corrosividad del CCA hay pocos datos sobre la corrosividad de otros productos hidrosolubles como el CCB (Cobre, Cromo y Boro) o el ACQ (sales de amonio cuaternarias).

Este último se plantea como alternativa ante la entrada en vigor del Real Decreto 1406/1989, que limita la comercialización y el uso de compuestos de arsénico desde el 30/06/2004 para determinados usos.

He aquí el resultado de un estudio comparativo sobre el comportamiento corrosivo de tres protectores hidrosolubles (CCA, CCB y ACQ) hacia distintos metales utilizados principalmente en la construcción de madera actual (acero galvanizado y acero inoxidable).

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Objetivo

Como objetivo se plantea evaluar el efecto corrosivo de tres protectores de madera basados en sales hidrosolubles de cobre sobre ciertos metales y recubrimientos galvanizados de herrajes metálicos para estructuras de madera.

Los protectores ensayados son:

- Arsenato de Cromo- Cobre (CCA)
- Borato de Cromo- Cobre (CCB)
- Sales cuaternarias de cobre (ACQ), sin Cromo ni Arsénico.

El ensayo de corrosión elegido, así como la denominación utilizada para el mismo, siguen las directrices de las Normas UNE EN ISO 7384 (1996) (p. 153): *Ensayos de corrosión en atmósfera artificial. Prescripciones generales* (12) y la UNE 112017(1992): *Recubrimientos metálicos. Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina* (13).

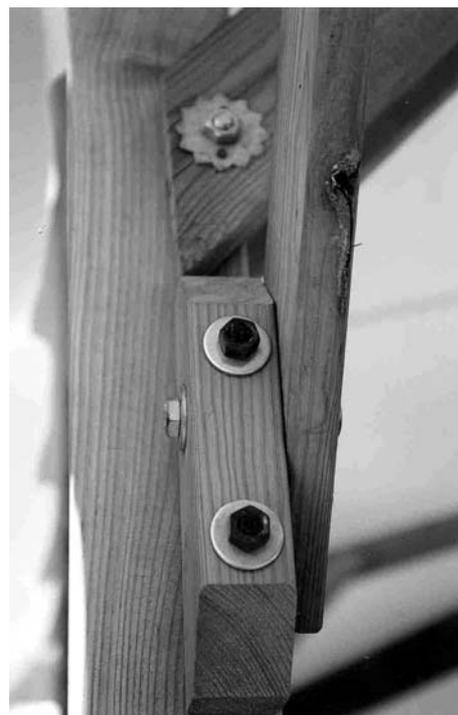


Figura 1. Corrosión de pernos galvanizados en ambiente marino.

De acuerdo a ellas se ha llevado a cabo un ensayo de corrosión a corto plazo en el que se fijan unas condiciones ambientales equiparables a un medio agresivo que puedan producir corrosión rápida y permitan la rápida detección de defectos y puntos débiles en los herrajes en contacto con madera tratada con los tres protectores ensayados. El medio agresivo se caracteriza como ciclos de humectación y secado en solución de cloruro sódico.

## 2.2. Elección de las muestras

### Herrajes: tipología y metal

Los herrajes ensayados se corresponden con prototipos de los más utilizados en uniones y encuentros de la carpintería de armar:

- Herraje tipo placa semioculta o intercalada. No existe adherencia con la madera, estando la placa tan sólo en contacto con ella por ambas caras. Se elige esta opción frente a la placa vista, por ser más habitual, debido a su mejor comportamiento frente al fuego (Fig. 2).
- Herraje tipo clavija con adherencia: puntas de adherencia mejorada.

Específicamente se eligen para el ensayo los siguientes tipos (Fig. 3)

1. Placa perforada intercalada de acero galvanizado en caliente por inmersión en continuo (Z275) de dimensiones L= 120, A= 50 y D=1,5 mm.
2. Punta helicoidal acero inoxidable AISI 316L de dimensiones L= 60 y D= 3,8 mm.
3. Punta anillada electrozincada L= 50 y D= 3,6 mm.
4. Punta acanalada galvanizada en caliente L= 90 y D= 3,4 mm.

### Especie de madera

Se ha elegido el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), por dos razones:

1. Es una de las especies más utilizadas para la realización de estructuras, por su resistencia en relación a su precio y a la facilidad de suministro.
2. Es fácilmente impregnable, desde el punto de vista de los tratamientos en profundidad, que han sido los utilizados para este ensayo.

### Probetas de ensayo

Las probetas elaboradas para este ensayo son de las siguientes características:



Figura 2. Ejemplo de unión con placa intercalada.

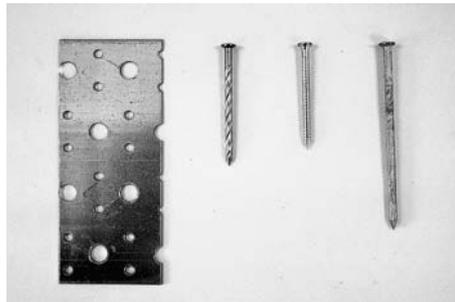


Figura 3. Herrajes utilizados en el ensayo: placa y puntas de adherencia mejorada.

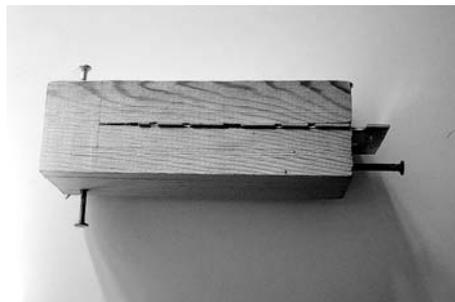


Figura 4. Probetas de ensayo.

Piezas de madera de pino silvestre, de dimensiones 50x50x150 mm, tratadas con diversos protectores, con una placa de acero galvanizado en continuo por inmersión en caliente intercalada en su parte central, y tres puntas clavadas: una arriba, de acero galvanizado en caliente, y dos laterales, una de acero inoxidable y otra de acero electrozincado (Fig. 4). El número de probetas para cada tratamiento es 6.

### Protectores

Los productos protectores de la madera que se ensayan son sales hidrosolubles aplicadas con un tratamiento en profundidad en autoclave de vacío-presión, sistema «Bethell»: se han elegido los siguientes:

1. Arsenato de Cromo- Cobre (CCA)
    - Marca TANALITH C 3310
- Caracterización del tratamiento
- Tipo de tratamiento: Vacío-presión

- Clase de riesgo garantizada: 4 (según EN 335/92, EN 351-1/95, 599-2/95)
- Retención del producto: 12 kg de sal/m<sup>3</sup> para CCA
- Clase de penetración: P8= total de albura para CCA

2. Borato de Cromo- Cobre (CCB)

- Marca FKR-CCB-L
- Caracterización del tratamiento
- Tipo de tratamiento: Vacío-presión
  - Clase de riesgo garantizada: 4 (según EN 335/92, EN 351-1/95, 599-2/95)
  - Dosificación recomendada para maderas de uso exterior en contacto directo con agua: 8 kg de sal seca/m<sup>3</sup>
  - Clase de penetración: P8= total de albura para CCA

3. Sales cuaternarias de cobre (ACQ), sin Cromo ni Arsénico

- Marca: FR 6211 ACQ 2100 de FROSH Chemie
- Caracterización del tratamiento
- Tipo de tratamiento: Vacío-presión
  - Clase de riesgo garantizada: 4 (según EN 335/92, EN 351-1/95, 599-2/95)
  - Dosificación recomendada para maderas de uso exterior en contacto directo con agua: 8 kg de sal seca/m<sup>3</sup>
  - Retención del producto: entre 23 y 27 l/m<sup>3</sup>.

**2.3. Condiciones de la atmósfera artificial creada**

Las condiciones elegidas son las correspondientes a la clase de servicio 3 (madera estructural a exterior y sin cubrir, con una Humedad Relativa del aire que excede gran parte del año del 85% y por una temperatura ambiental superior a 20 °C) con la simulación de unas condiciones ambientales extremas: períodos de humectación por lluvia, con agua contaminada de cloruro sódico, que transfieren un contenido de humedad a la madera del 100%, alternados con períodos de secado, que reducen el contenido de humedad de la madera al 12% aproximadamente (Tabla 1).

**2.4. Duración del ensayo**

La duración del ensayo es de 432 h (18 días). El nº de ciclos es 3. Cada ciclo consta de:

96 h de humectación (4 días), 24 h de secado al aire (1 día) y X h de secado en estufa (hasta alcanzar un contenido de humedad de la madera del 12%).

**2.5. Períodos de evaluación**

La evaluación de resultados se hará mediante dos procedimientos:  
 - Visual: después de cada ciclo y  
 - Pérdida de masa: al final del ensayo- 432 h (18 días)-

**2.6. Medios para el ensayo**

*Cubetas de humectación*

Se utilizan cuatro cubetas de humectación, una por cada tratamiento de madera y una para madera sin tratamiento. Estas cubetas se llenan de una solución de 7,5 l de agua destilada (cantidad suficiente para cubrir las probetas) y cloruro sódico en una proporción de 50 g/l ± 5 g/l.

En cada cubeta se dispone una rejilla de suspensión, que impida que las probetas de madera estén en contacto con el cloruro sódico que se deposita en el fondo de la solución saturada (Fig. 5).

Una vez sumergidas las seis probetas en cada cubeta, se dispone un peso superior para evitar la suspensión de las mismas en la solución.

Los días de humectación de cada ciclo son 4.

*Balanza de pesada*

La balanza utilizada es una balanza Neurtek Cobos precisión, Max/d= 3000/ 0,01 g. La función de la balanza en el ensayo es evaluar la variación de masa de los elementos metálicos por el fenómeno de oxidación-corrosión.

Se realiza una pesada inicial, antes del ensayo, una pesada intermedia, al finalizar los tres ciclos del ensayo, previo al plan de limpieza, y una pesada final tras el plan de limpieza.

*Procedimientos de secado*

La fase de secado se ha realizado mediante dos procedimientos: uno, inicial, de secado al aire,

**Tabla 1. Condiciones termohigrométricas del ensayo en atmósfera artificial de corrosión rápida**

	ESTADO SECO	ESTADO HÚMEDO
Contenido de humedad de la madera (CH)	12%	100%
	Estufa 60 °C	Ambiente 25 °C /30 °C

justo tras retirar las probetas de la fase de humectación, y otro, posterior, de secado en estufa. La duración del primero ha sido de 24 h, y es fundamental, puesto que permite liberar gran parte del agua por intercambio de la madera con el medio ambiente, más aún si el ensayo se realiza en condiciones climáticas de calor, como son los meses de verano. El segundo se ha realizado en estufa (estufa termostática de  $\pm 200\text{ }^\circ\text{C}$ ) a una temperatura constante de  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , en un período inicial considerado de 3 días por cada ciclo de humectación, prevaleciendo el objetivo de llegar a un contenido de humedad de la madera del 12%.

#### Limpieza de los herrajes

Se ha llevado a cabo siguiendo la Norma ASTM G1-1981: *Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating corrosion test specimens*. El método de limpieza químico que especifica esta Norma para el zinc es el siguiente:

Se utiliza una solución de 150 ml de Hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ , sp gr 0,90) en 1 litro de agua a temperatura ambiente durante algunos minutos de tiempo. La proporción en pureza es de un 13%. Según la misma Norma, este método se puede complementar, si fuera necesario, con medios mecánicos para retirar depósitos adherentes. En tal caso usar un raspador suave o un cepillo de cerdas duro, inflexible.

### 3. RESULTADOS

Los resultados del ensayo son los siguientes:

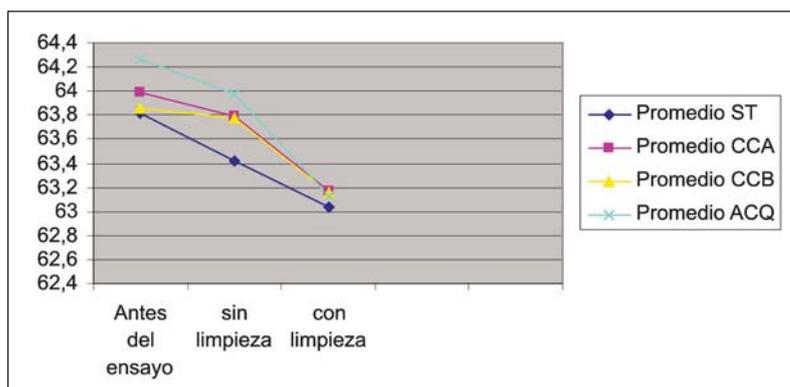


Figura 6. Promedio de variación de masa (g) en placas.

Tabla 2. Evaluación de la corrosión por pérdida de masa

ACQ	promedio = 1,14 g	pérdida de masa de la placa = 1,77%
CCA	promedio = 0,82 g	pérdida de masa de la placa = 1,28%
ST	promedio = 0,78 g	pérdida de masa de la placa = 1,22%
CCB	promedio = 0,70 g	pérdida de masa de la placa = 1,09%



Figura 5. Cubeta de humectación con rejilla de suspensión y peso superior.

1. Listado de pesos de los herrajes tipo placa por probeta. Se hace tras finalizar el ensayo y permite realizar una evaluación de la corrosión por pérdida de masa.

2. Fotos y tablas de control del cambio de aspecto de los herrajes. Permite hacer una evaluación visual de la corrosión.

1. Evaluación de la corrosión por pérdida de masa.

El promedio de variación de masa de las placas permite realizar un gráfico (Fig. 6) donde se observa cómo hay pérdida de masa en todas las series de placas, aunque la cuantificación es distinta según el tipo de tratamiento. El orden es, de mayor a menor pérdida, el que se expone en la Tabla 2.

Esta pérdida de masa se realiza en cada serie de probetas siguiendo un camino diferente. Las no tratadas (ST), lo hacen de forma lineal aproximadamente, mientras que las que tienen protectores experimentan un punto de inflexión importante tras la finalización del ensayo y ser limpiadas de productos de

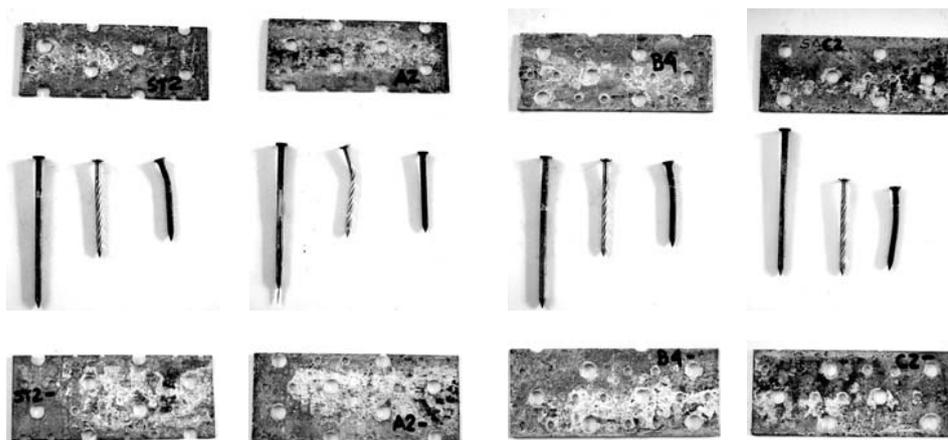


Figura 7.1. Herrajes de la probeta tipo sin tratamiento. ST2-: reverso de la placa.

Figura 7.2. Herrajes de la probeta tipo tratada con CCA. A2-: reverso de la placa.

Figura 7.3. Herrajes de la probeta tipo tratada con CCB. B4-: reverso de la placa.

Figura 7.4. Herrajes de la probeta tipo tratada con ACQ. C2-: reverso de la placa.

corrosión. Esto quiere decir que durante el ensayo se depositan sales y productos de corrosión en las placas que contrarrestan la pérdida de masa que pudieran tener, pero que tras ser limpiadas demuestran que la pérdida de masa es muy superior respecto a las que no tienen tratamiento, exceptuando las tratadas con CCB.

2. Evaluación visual de la corrosión por cambio de aspecto. A continuación se muestran imágenes (Fig. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4) del aspecto final de probetas tipo para cada tratamiento protector y la de referencia (sin protector).

#### 4. CONCLUSIONES

##### 4.1. Sobre el procedimiento de ensayo

1. La evaluación más eficiente de la corrosión de los diversos metales y recubrimientos de zinc ensayados es la de tipo visual, por la confusión y falta de rigor que genera, en ocasiones, la de pérdida de masa. Los tratamientos protectores de sales hidrosolubles generan gran cantidad de sales y productos de corrosión sobre los elementos metálicos que enmascaran la posible pérdida de masa debida a la corrosión.

##### 4.2. Sobre los protectores de madera

2. Los tratamientos de madera hidrosolubles basados en sales de cobre aumentan la velocidad de corrosión de los metales, al observarse antes productos de corrosión en las probetas tratadas que en las probetas no tratadas, en las que también se observan, pero más tardía y atenuadamente.

3. El fenómeno de corrosión no es producto de la acidez o pH de las soluciones que

resultan de la humectación de las probetas tratadas, sino del electrolito creado por las sales de los tratamientos y el par galvánico creado con las partículas de cobre de los tratamientos.

4. El tratamiento más agresivo, es decir, con más capacidad de corrosión hacia los metales, con gran diferencia, es el de sales de amonio cuaternario (ACQ). Le siguen en capacidad de corrosión el CCA y, por último, el CCB.

5. El tratamiento con sales ACQ hace retener a la madera mucha humedad ralentizando su secado (tanto al aire como en estufa) y favoreciendo la corrosión de metales.

6. El tratamiento con CCB es el menos corrosivo de los tratamientos ensayados, incluso menos corrosivo que la no existencia de tratamiento.

7. Los tratamientos ACQ y CCB generan gran cantidad de productos de corrosión; los generados por el ACQ se pueden considerar corrosivos y los generados por el CCB se pueden considerar protectores.

8. Los productos de corrosión generados en todos los casos son muy adherentes y difíciles de eliminar.

##### 4.3. Sobre los metales y recubrimientos de zinc

Se puede afirmar que:

9. En condiciones de servicio equiparables a una clase de servicio 3, con madera tratada con productos de sales hidrosolubles de cobre, el metal con mejor comportamiento frente a la corrosión es el acero inoxidable (AISI 316 L). Le sigue el acero galvanizado en caliente, por inmersión discontinua de las puntas acanaladas.

10. En las mismas condiciones de servicio, el procedimiento de galvanización en continuo que tienen las placas, con un espesor de recubrimiento correspondiente a la denominación Z275 es insuficiente desde el punto de vista de resistencia a la corrosión. Además, estas placas perforadas tienen puntos débiles como son los bordes de las perforaciones, en

las que no se mantiene el espesor de recubrimiento general de la placa, haciendo que la corrosión del metal base se produzca de forma acelerada.

11. El acero electrozincado, sin mejora frente a la corrosión, debe evitarse en estas condiciones de servicio por su facilidad de corrosión.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) BAKER A. J.: «Corrosion of Metal in Wood Products». Procs. 1<sup>st</sup>. Int. Conf. *Durability of Building Materials and Components*, organisers ASTM, Published as *ASTM Special PU*: nº 691 (august, 1978), pp. 981-993, Ottawa.
- (2) BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE): «Corrosion of metals by wood», *Building Research Establishment Digest*, vol. 301 (september 1985), pp. 1- 4.
- (3) CALLAGHAN, B. C.: «The dangers of timber and metal in contact», *Construction in Southern Africa*, vol dec (december 1969), pp. 53-63.
- (4) CROSS, J.; BAILEY, G.: «Research unravels mystery of corroded fasteners», *Building Trades JNL*. vol. 198, nº 5827 (october 1989), pp. 28-32.
- (5) GREATER LONDON COUNCIL: «Corrosion of metal fasteners used in conjunction with preservative treated timbers», *Development and Materials Bulletin*, vol. 87 (2<sup>nd</sup> Series), nº 2 (july 1975), pp. 1-5.
- (6) GREATER LONDON COUNCIL: «Corrosion of zinc coated steel fasteners in conjunction with preservative treated timbers», *Development and Materials Bulletin*, vol. 91 (2<sup>nd</sup> Series), nº 5 (january 1976), pp. 1-6.
- (7) GREATER LONDON COUNCIL: «Corrosion of metal fasteners used in conjunction with CCA preservative treated timbers», *Development and Materials Bulletin*, vol. 135 (2<sup>nd</sup> Series), nº 4 (december 1981), pp. 1-3.
- (8) WATSON, R. W.: «Corrosion of metals in Preserved Wood», *Supplement to Timber Trades Jnl*. 16<sup>th</sup> (oct., 1976), 11+17.
- (9) WHITNEY R. S.; FRY, J.I.: «Corrosion problems in the New Zealand building Industry», *Corrosion Association Conference*, vol. 16 (1976), pp.1- 10.
- (10) WHITNEY R.S.: «Timber Fasteners and Potential Problems of Corrosion», *Building Research Association of New Zealand*, Preprint, nº 10 (january.1979), 26 p.
- (11) AENOR- "Corrosión" (recopilación de Normas UNE). Madrid: AENOR N. A. 71.970, 1999.
- (12) UNE-EN ISO 7384 (1995): "Ensayos de corrosión en atmósfera artificial, Prescripciones generales" (ISO 7384:1986).
- (13) UNE 112017 (1992): "Recubrimientos metálicos. Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina". (ISO 9227: 1990).
- (14) UNE- EN ISO 10289 (2001): "Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión" (ISO 10289).
- (15) ISO 8407: "Metales y Aleaciones. Procedimientos para eliminar los productos de corrosión desde las probetas de ensayos de corrosión".
- (16) ASTM G1-81 (1981): "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens".

\* \* \*