



**Universidad de Jaén**  
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

---

**ESTUDIO DEL PROCESO DE UNA  
PLANTA DE GALVANIZADO  
PARA PIEZAS METÁLICAS EN EL  
TÉRMINO MUNICIPAL DE  
LINARES.**

**Alumno:** CELIA MUÑOZ ALMANSA

**Tutor:** PATRICIO LUPIAÑEZ CRUZ

**Depto.:** INGENIERÍA GRÁFICA, DISEÑO Y  
PROYECTOS.

**NOVIEMBRE, 2020**

## Índice

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. MEMORIA.....</b>                                              | <b>7</b>  |
| 1.1 FINALIDAD.....                                                  | 7         |
| 1.2 UBICACIÓN.....                                                  | 7         |
| 1.2.1 Descripción de la ubicación y justificación urbanística ..... | 7         |
| 1.3 ANTECEDENTES .....                                              | 9         |
| <b>2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GALVANIZACIÓN. ....</b>           | <b>11</b> |
| 2.1 INTRODUCCIÓN.....                                               | 11        |
| 2.2 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.....                      | 12        |
| 2.3 PROPIEDADES DEL GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE .....     | 13        |
| 2.4 APLICACIONES .....                                              | 15        |
| 2.4.1 Resistencia a la corrosión atmosférica.....                   | 15        |
| 2.4.2 Rendimientos en otros ambientes.....                          | 17        |
| 2.5 BARRERA DE PROTECCIÓN .....                                     | 19        |
| <b>3. PREPARACIÓN DEL ACERO GALVANIZADO .....</b>                   | <b>21</b> |
| 3.1 PROCESO DE GALVANIZADO .....                                    | 22        |
| <b>4. PROCESO INDUSTRIAL. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....</b>          | <b>23</b> |
| 4.1 FUNCIÓN DE LOS BAÑOS DE LA PLANTA .....                         | 25        |
| 4.2 BAÑO DE DESENGRASE.....                                         | 25        |
| 4.3 BAÑOS DE DECAPADO DE LA PLANTA.....                             | 26        |
| 4.4 BAÑO DE PREFLUXADO O ENJUAGUE DE LA PLANTA.....                 | 26        |
| 4.5 BAÑO DE FLUXADO DE LA PLANTA .....                              | 27        |
| 4.6 ESTUFA CALEFACTORA.....                                         | 28        |
| 4.7 CRISOL DE LA PLANTA.....                                        | 28        |
| 4.8 BAÑO DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA .....                         | 32        |
| 4.9 BAÑO DE PASIVADO DE LA PLANTA.....                              | 32        |
| 4.10 LA CAPACIDAD UNITARIA DE LOS BAÑOS .....                       | 33        |
| 4.11 NORMA DE ENSAYOS MATERIALES.....                               | 34        |

|                                                                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.11.1. Norma UNE EN ISO 1461:2010 .....                                                                                                                                  | 35        |
| 4.11.2. Especificación técnica de Red Eléctrica Española. ....                                                                                                            | 42        |
| <b>5. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO ACTUAL .....</b>                                                                                                                        | <b>47</b> |
| 5.1. Procedimiento de medida de la densidad.....                                                                                                                          | 47        |
| 5.2. Procedimiento de ácido clorhídrico en disolución.....                                                                                                                | 49        |
| 5.3. Verificación de la calibración y utilización del medidor de pH y temperatura .....                                                                                   | 52        |
| 5.4. Determinación de hierro y cloruro de hierro en disolución.....                                                                                                       | 55        |
| 5.5. Determinación de zinc .....                                                                                                                                          | 57        |
| <b>6. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO (PROPUESTA) .....</b>                                                                                                                   | <b>59</b> |
| 6.1. DETERMINACIONES AUTOMÁTICAS .....                                                                                                                                    | 59        |
| 6.2 REACTIVOS.....                                                                                                                                                        | 61        |
| 6.3. ANÁLISIS QUÍMICOS .....                                                                                                                                              | 63        |
| 6.3.1 Recogida de muestra .....                                                                                                                                           | 63        |
| 6.3.2 Determinación de cloruro .....                                                                                                                                      | 65        |
| 6.3.3 Determinación de cloruro de zinc en disolución .....                                                                                                                | 68        |
| 6.3.4 Determinación de cloruro de amonio en disolución.....                                                                                                               | 71        |
| 6.4 Ensayo de materiales .....                                                                                                                                            | 74        |
| 6.4.1 Inspección del aspecto superficial.....                                                                                                                             | 74        |
| 6.4.2 Protocolo de inspección del aspecto superficial de piezas galvanizadas, según la especificación técnica 037 de la compañía red eléctrica española.....              | 76        |
| 6.4.3 Inspección de la continuidad y uniformidad del revestimiento de piezas galvanizadas, según la especificación técnica 037 de la compañía red eléctrica española..... | 77        |
| 6.4.4 Determinación de la uniformidad de los recubrimientos galvanizados mediante ensayo de inmersión en sulfato de cobre.....                                            | 79        |
| 6.4.5 Protocolo de inspección de la adherencia del recubrimiento, según la especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española.                              |           |
| 82                                                                                                                                                                        |           |
| 6.4.6 Protocolo de ensayo de acuchillado para la determinación de la adherencia de los recubrimientos galvanizados aplicados a materiales de hierro y acero.....          | 84        |

|                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.4.7 Ensayo de martillado para la determinación de la adherencia de los recubrimientos galvanizados aplicados a materiales de hierro y acero..... | 86        |
| 6.4.8 Inspección del espesor de recubrimiento, según la especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española, S.A. ....                | 87        |
| 6.4.9 Ensayo de determinación del espesor de recubrimiento, mediante el método magnético .....                                                     | 90        |
| 6.4.10 Ensayo de determinación del espesor de recubrimiento, mediante el método gravimétrico.....                                                  | 92        |
| <b>7 BIBLIOGRAFIA .....</b>                                                                                                                        | <b>94</b> |
| <b>8. PLANOS .....</b>                                                                                                                             | <b>94</b> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Mapa de localización.....                                                                                     | 8  |
| Ilustración 2. Vista aérea de la planta .....                                                                                | 8  |
| Ilustración 3. Consecuencia de los daños en diversos tipos de revestimiento que ofrecen protección contra la corrosión. .... | 20 |
| Ilustración 4. Diagrama de flujo del proceso de galvanizado. ....                                                            | 23 |
| Ilustración 5. Piezas en bruto antes de ser galvanizadas.....                                                                | 24 |
| Ilustración 6. Piezas después de ser galvanizadas. ....                                                                      | 24 |
| Ilustración 7. Representación del proceso de galvanizado. ....                                                               | 25 |
| Ilustración 8. Capas del recubrimiento del galvanizado. ....                                                                 | 29 |
| Ilustración 9. Lingotes de zinc. ....                                                                                        | 30 |
| Ilustración 10. Lingotes de aluminio. ....                                                                                   | 31 |
| Ilustración 11. Equipo automático de análisis.....                                                                           | 61 |
| Ilustración 12. Equipo de recogida de muestras.....                                                                          | 65 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Velocidad de corrosión del zinc en diferentes atmósferas. Según ISO 9223-1992 .....                                           | 16 |
| Tabla 2. Diámetros recomendados para los orificios de ventilación.....                                                                 | 22 |
| Tabla 3. Número mínimo de piezas que forman la muestra de control en función del número de piezas que forma el lote de inspección..... | 37 |
| Tabla 4. Número de áreas de referencia en función de la superficie significativa de la pieza.....                                      | 39 |
| Tabla 5. Espesores locales y medios en función del espesor de la pieza. ....                                                           | 40 |
| Tabla 6. Número de piezas que forman la muestra de control según el número de piezas totales del lote.....                             | 44 |
| Tabla 7. Muestreo para inspeccionar adherencia y espesor .....                                                                         | 46 |
| Tabla 8. Espesores del recubrimiento en función del espesor del material.....                                                          | 46 |
| Tabla 9. Reactivos para los análisis manuales.....                                                                                     | 62 |
| Tabla 10. Indicadores necesarios para los análisis. ....                                                                               | 63 |
| Tabla 11. Número de inmersiones según el tipo de pieza.....                                                                            | 81 |
| Tabla 12. Muestras a las que se les realiza la medida, dependiendo del tamaño del lote.....                                            | 83 |
| Tabla 13. Criterios de aceptación y rechazo, según el número de piezas que componen el lote .....                                      | 84 |
| Tabla 14. Número de muestras seleccionadas según el tamaño del lote. ....                                                              | 88 |
| Tabla 15. Valores mínimos de espesor de recubrimiento en función del espesor del material.....                                         | 89 |

## **1. MEMORIA**

### **1.1 FINALIDAD**

La industria de la galvanización en caliente es una industria tecnológicamente avanzada, que tiene como objetivo la protección de toda clase de piezas y artículos de hierro y acero frente a la corrosión mediante un recubrimiento de zinc fundido, el cual proporciona una protección duradera.

La finalidad del presente proyecto no es otra sino la de describir el proceso de una planta de galvanizado, ubicada en el término municipal de Linares, Jaén.

Además también se pretende añadir algunas mejoras de la planta.

### **1.2 UBICACIÓN**

#### **1.2.1 Descripción de la ubicación y justificación urbanística**

La localización de la planta se encuentra en la localidad de Linares, Jaén, en la zona conocida como Polígono Industrial Los Jarales, próxima a las afueras de la localidad, conectada con las salidas más próximas posibles.



### Ilustración 2. Vista aérea de la planta



Por nuestra localización, se tiene normativas de carácter nacional, específicas de la comunidad autónoma de Andalucía y por último la normativa municipal de Linares. Cada municipio cuenta con El Plan General de Ordenación Urbana el cual se establece las condiciones más restrictivas de la edificación, establecimiento de las infraestructuras y separaciones mínimas y máximas tanto con otros edificios como con la calzada.

El Plan General de Ordenación Urbana de Linares nos demanda los siguientes requerimientos obligatorios para la implantación de la planta en la localidad:

- La parcela debe contar con área de mínimo 1.600 m<sup>2</sup>
- Fachada ha de ser mínimo de 30m
- La alineación exterior se realiza con elementos de cerramiento, como verjas, con altura máxima de 2m.
- La parcela no podrá ser ocupada por edificaciones en más de un 60% de su superficie total.
- Altura máxima de las construcciones e instalaciones de 3 plantas con 12 metros como máximo.
- Edificabilidad de 0.60 m<sup>2</sup>/m.
- Separación de linderos como mínimo de 6 metros tanto para lindero frontal como lo de la fachada exterior.
- Zonas exclusivas de carga y descarga

El terreno cumple con las condiciones establecidas en el PGOU, además de otras normativas de carácter general como el Código Técnico de la Edificación (CTE) u Ordenación de la Edificación, por lo tanto, su ubicación permite la industria señalada.

### **1.3 ANTECEDENTES**

En los últimos años, sin atender a la actual situación de crisis económica provocada por la pandemia actual, la producción de acero galvanizado creció en España alrededor de un 15%, lo que se traduce en una producción de 650.000 toneladas. El sector nacional de galvanización cuenta con 43 plantas

productoras alcanzando una facturación anual de más de 200 millones de euros y con un mantenimiento de 3.000 empleos directos.

El 45% de la producción de galvanizado se emplea en el sector energético, el 30% en el sector de la construcción y el resto en otro tipo de aplicaciones como mobiliario urbano, elementos viales, ganadería, agricultura, transporte, etc.

España por su volumen de producción, así como por su capacidad productiva se sitúa en el cuarto lugar de la Unión Europea; no obstante existe la posibilidad real de un mayor crecimiento ya que en nuestro país, tan solo un 5% del acero es galvanizado frente a porcentajes mayores de otras economías mundiales donde éste puede alcanzar valores de hasta el 20% (EEUU).

No obstante es necesario adoptar una serie de medidas en los tres ámbitos de la sostenibilidad; económico, ambiental y social para garantizar tanto la reactivación del sector tras la actual crisis del COVID-19, como la competitividad y productividad del sector a largo plazo.

Las medidas necesarias para conseguir el objetivo marcado consistirían en:

- Promover los proyectos de inversión industrial en los Planes de Reindustrialización y Fortalecimiento de la Competitividad Industrial del Ministerio de Industria.
- Continuar con la Transición Energética favoreciendo la descarbonización y fomentando las energías renovables.
- Impulsar un Programa ambicioso de inversión pública que promueva y estimule proyectos de construcción e infraestructura sostenible basados en los principios de durabilidad, adaptabilidad y reducción de residuos (Principio de Economía Circular), siendo imprescindibles para alcanzar dichos principios el fomento de materiales 100% reciclables y reutilizables, como el acero galvanizado, con escasos requerimientos de mantenimiento y mayor vida útil.
- Buscar o impulsar medidas de carácter financiero que mejore el cash-flow de las empresas para evitar situaciones críticas

de tesorería que pongan en riesgo la supervivencia de las empresas.

- Impulsar de manera definitiva la Estrategia Española de Economía Circular basada en el plan de acción definido por la Unión Europea para activar la demanda nacional de productos más circulares. Esta estrategia tendrá como principal eje de actuación el desarrollo de criterios de ecodiseño en el sector de la construcción y servicios anexos, así como de criterios específicos de economía circular para las compras públicas verdes basados en datos contrastados sobre durabilidad y reciclabilidad de productos.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE GALVANIZACIÓN.**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En metalurgia, operación de revestir chapas y bandas de metal, alambre y otras piezas metálicas con una capa de zinc a objeto de retardar la corrosión superficial.

El acero, uno de los principales materiales de construcción es el metal de esa rama de la industria que mayor importancia reviste en el mundo tecnológico de hoy. Es resistente, dúctil, fácil de modelar en diversas formas y perfiles y fácil también de trabajar, soldar y reparar. Sin embargo, debe protegerse al igual que otros materiales de construcción, contra la corrosión producida por la intemperie y el agua.

La corrosión del acero (la llamada oxidación) adquiere especial gravedad en climas contaminados por la polución industrial (SMOG, humo) en agua polucionada y en agua de mar. Las pérdidas que ocasiona la corrosión constituye una fuerte carga económica cada día se incrementan las zonas en que la polución del aire y del agua acarrea un aumento inevitable de la corrosión, por lo cual las medidas anticorrosivas perfectamente estudiadas y aplicadas, constituyen una necesidad urgente.

El revestimiento con zinc constituye uno de los medios usualmente más empleados para evitar la oxidación del hierro y el acero

El zinc es parte de la naturaleza. Muchas rocas y minerales contienen zinc en distintas cantidades, el zinc existe en el aire, el agua y en el suelo como efecto de los procesos naturales. El zinc metal se obtiene de estos minerales y del reciclado de productos que contienen este metal.

Un 30% del abastecimiento del zinc proviene del zinc reciclado. La degradación y abrasión de las rocas, los suelos los sedimentos provocada por el viento y las aguas hacen que se movilice constantemente una pequeña fracción de este zinc natural y pase al medio ambiente, dando lugar a determinados niveles básicos de este elemento en el aire, aguas y suelo.

## **2.2 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.**

Este procedimiento es el más utilizado. El sistema, relativamente sencillo y fácil de controlar, proporciona un revestimiento excepcional que queda íntimamente ligado a la superficie del acero por las reacciones de la aleación del zinc y del hierro. En la actualidad existen tres tipos de galvanizado por inmersión de baño caliente:

1. **Continua o procedimiento sendzimir.** Los rollos de chapa laminados en frío se introducen en un largo horno de oxidación-reducción, donde en primer lugar se oxida la superficie y luego se reducen todos los óxidos del hierro en una atmosfera de gases de craqueo (por ejemplo amoníaco e hidrogeno). Después, la superficie de acero puro entra en un baño de zinc fundido a 400-450°C y el rollo pasa recorriendo una zona de enfriamiento, a través de una zona de cromatación a fin de aumentar la resistencia a la oxidación en clima húmedo (el white rust o formación de manchas blancas de carbonato básico de zinc) antes de volver a ser enrollado o cortado en chapa.

2. **Galvanización en seco.** Este proceso se lleva a cabo en instalaciones especiales. Una vez desengrasados en una disolución de sosa

caustica, los artículos van desde pequeña pieza como tornillos, tuercas, arandelas, etc a grandes estructuras de 15m o más de longitud, según las dimensiones del baño de galvanización, son decapados en ácido clorhídrico. En la cuba de decapado se eliminan los óxidos de hierro. Después de limpiarlos con agua, los artículos se transportan al baño de fundente, en el que una solución acuosa de zinc y cloruro amónico hace desaparecer de la superficie los últimos vestigios de óxido de hierro. Luego se secan en un túnel o plancha de secado antes de introducirlos durante 30-300 segundos, dependiendo del espesor de la pieza, en el zinc en fusión a 445-465°C. En este tiempo se forman unas capas de aleación zinc-hierro, sobre la cual viene a depositarse, al retirarse del baño del zinc, una capa de zinc puro (capa eta). Finalmente se deja enfriar en agua o al aire el artículo galvanizado.

**3. Galvanización por inmersión.** Constituye una variante del sistema anterior. En vez de una solución de fundente se emplea un fundente en fusión, que flota sobre parte de la superficie del zinc a fin de eliminar de la superficie de acero los últimos residuos de óxido. Los artículos se introducen en el baño de zinc a través de esa capa de zinc en fusión y cloruro amónico y luego se retiran por el otro extremo del baño. Tanto este sistema como el de galvanizado en seco proporcionan los mismos revestimientos con la misma resistencia a la corrosión.

## **2.3 PROPIEDADES DEL GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

El acero así tratado proporciona gran resistencia a la corrosión. Resistencia depende tanto del clima como del peso del revestimiento. La duración de los materiales recubiertos con galvanizado es directamente proporcional al espesor de los mismos.

La galvanización en caliente es un procedimiento con un amplio abanico de aplicaciones. Se puede usar tanto de protección de productos siderúrgicos,

como son la banda, el alambre o los tubos, como para la protección de toda clase de piezas o artículos de acero; para pequeñas piezas, como clavos, tornillos, hasta grandes elementos estructurales; par piezas que presenten rendijas estrechas, rincones y paredes ocultas, debido a que se tiene que introducir en un baño, la totalidad de la pieza quedará recubierta.

La galvanización en caliente es un proceso sencillo y perfectamente controlado, que proporcionan recubrimientos de zinc de calidad y espesor normalizados sobre cualquier artículo o pieza de hierro o acero.

Una propiedad muy importante del acero galvanizado es la protección catódica que proporciona al acero en las pequeñas zonas que quedan al recubierto. Cuando el desgaste o lo deterioros destruyen el revestimiento de zinc. En dichas zonas el revestimiento de zinc circundante representa un factor muy activo para impedir la formación de óxido en los puntos al descubierto. Si se inicia la oxidación, quedara limitada al contorno inmediato a la zona desnuda y no provocara la mucho más peligrosa corrosión crateriforme (picaduras).

Por otra parte, las capas duras formadas por hierro-zinc son un 10-25% más duras que el acero subyacente, por lo que ofrecen una excelente resistencia al desgaste y la erosión- por su resistencia química superior a la del zinc-sigue proporcionando así mismo una protección continua después de desaparecida la capa superior de zinc puro.

Resulta bastante fácil determinar si una pieza ha sido o no galvanizada debidamente, la presencia de zonas negras indica que estas se hayan desprovista de zinc, y por tanto, no protegidas. Algunos países han emitido normas relacionadas con el control de calidad de artículos galvanizados.

En las regiones en que la excesiva actividad del clima o el agua atacan con demasiada rapidez al revestimiento de zinc o en los casos en los que se requiere colores especiales, se emplea los sistemas dúplex. Consiste en galvanizar el artículo y recubrirlo luego con 1-3 capas de pintura. Su valor de protección es más del doble del valor de protección del recubrimiento de zinc y la pintura considerados por separado.

## **2.4 APLICACIONES**

Debido a las características especiales del acero galvanizado, los sistemas de galvanizado han conquistado la mayoría de los campos industriales que involucran recubrimientos anticorrosivos.

El número creciente de fábricas destinadas a la galvanización y el tamaño cada vez mayor de los baños de galvanizado han abierto nuevos y grandes campos de aplicación en la industria de la construcción, el mundo de la electricidad, el tráfico y el alumbrado de calles y carreteras, la industria química, la agricultura y la construcción naval. Hoy se galvanizan en el mundo entero artículos y piezas por millones.

Contribuyen además los aspectos económicos. Debido al aumento constante de los salarios y las cargas sociales, la galvanización se ha convertido en un proceso anticorrosivo, que puede ser muy beneficioso para este propósito. Hoy son muchos los países en que la galvanización cuesta menos por metro cuadrado que la pintura y en numerosos casos su acción dura muchos más años. Por lo tanto, desde un punto de vista económico, cuando los dos métodos anticorrosión son aplicables, compare el precio por metro cuadrado, lo más importante es, la de precios por metro cuadrado por año de duración, ofrece un brillante y alentador panorama para la industria del galvanizado.

### **2.4.1 Resistencia a la corrosión atmosférica.**

La resistencia de la galvanización contra la corrosión atmosférica depende de una película protectora que se forma en su superficie. Cuando se retira el hacer del baño de galvanización, el zinc presenta una superficie brillante y pulida. Con el tiempo esta se vuelve gris, porque la superficie reacciona al oxígeno, el agua y el dióxido de carbono de la atmosfera, lo cual permite la formación de una película protectora compleja pero al mismo tiempo fuerte y estable, que se pega con firmeza al zinc.

Los contaminantes de la atmosfera afectan a la naturaleza del zinc, siendo el dióxido de azufre el principal contaminante que afecta al zinc y que

controla además en gran medida la velocidad de la corrosión atmosférica de este elemento.

La velocidad de corrosión del zinc se produce generalmente de forma lineal en un entorno determinado, lo cual permite estimar la vida útil del revestimiento mediante las evaluaciones de su espesor. También se puede estimar la vida útil del recubrimiento a través del cálculo de las velocidades de corrosión de una determinada categoría de corrosividad. En la **tabla 1** podemos ver cómo influyen los distintos ambientes a la corrosividad del zinc. Esta tabla puede ayudar a estimar la duración previsible de un recubrimiento galvanizado en un ambiente determinado.

| <b>Categoría de corrosividad</b> | <b>Ambiente: Pérdida media anual de espesor de zinc (<math>\mu\text{m}</math>)</b>                                                |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C1 Muy baja                      | Interior: seco 0,1                                                                                                                |
| C2 Baja                          | Interior: Condensación ocasional 0,1 a 0,7                                                                                        |
| C3 Media                         | Interior: Humedad elevada y alguna contaminación del aire<br>Exterior: Urbano no marítimo, y marítimo de baja salinidad 0,7 a 2,1 |
| C4 Alta                          | Interior: Piscinas, plantas químicas, etc.<br>Exterior: Industrial no marítimo, y urbano marítimo 2,1 a 4,2                       |
| C5 Muy alta                      | Exterior: Industrial muy húmedo o con elevado grado de salinidad 4,2 a 8,4                                                        |

**Tabla 1. Velocidad de corrosión del zinc en diferentes atmósferas. Según ISO 9223-1992**

Se quiere decir con 'vida' tiempo en el que el zinc del recubrimiento protege al acero base de la corrosión.



## 2.4.2 Rendimientos en otros ambientes

### Ambientes internos.

Un error común es creer que la corrosión no puede afectar las estructuras de acero que se encuentran en los ambientes internos, descartando ideas del tiempo. Si se registra condensación frecuente en la superficie de la estructura y además el acero no está debidamente protegido, la corrosión será significativa. En estas condiciones, la galvanización por inmersión en caliente puede ofrecer más de 40 años de vida útil. La galvanización por inmersión caliente ha sido también ampliamente utilizada para proteger las estructuras de hacer en ambientes interiores, además de agresivos, como piscinas y cervecerías.

### Inmerso; agua fría.

En su gran mayoría, las aguas tienen sales formadoras de incrustaciones, que puede formar un revestimiento de protección en las superficies internas de los sistemas galvanizados de abastecimiento de agua. En consecuencia, los revestimientos pueden presentar vida útil normalmente incrementada en más de 40 años. Si estas sales no están presentes, la vida útil del recubrimiento puede ser prolongada con la aplicación de dos capas de solución bituminosa.

### Inmerso: agua caliente.

Las propiedades del agua formado de incrustaciones son también importantes en agua caliente, ofreciendo una esperanza de vida útil de más de diez años. Por encima de los 60°C, el zinc puede ser catódico en relación al acero por inmersión en agua, no ofreciendo más protección de sacrificio, caso se dañe el revestimiento. En las estructuras, por ejemplo, de tuberías, en las que este fenómeno puede ocurrir, la protección de sacrificio puede ser

garantizada a través del uso de un ánodo de magnesio de apoyo para el revestimiento del zinc.

#### Inmerso: agua de mar.

El agua de mar es más agresiva que el agua dulce debido a la presencia de sales disueltas, que acelera el proceso corrosivo. Debido al elevado contenido de cloruros presentes en el agua de mar, debería esperarse una muy alta tasa de corrosión. Sin embargo, la presencia de iones calcio y magnesio tiene un fuerte efecto inhibitorio de la corrosión del zinc en este entorno.

La inmersión por la marea, la marea regular o la inmersión en agua de mar tropical caliente puede dar lugar a una mayor tasa de corrosión.

#### Subterráneo

La vida útil de un revestimiento galvanizado enterrado puede variar, dependiendo, por ejemplo, del tipo de suelo, su acidez y si ha sido alterado. La variación de pH de 5,5 a 12,5, es decir, ligeramente ácido a alcalino, es favorable. Los suelos que contienen las cenizas y los desechos de carbón son especialmente dañinos. En muchos casos, la aplicación de una solución bituminosa en la capa de zinc es beneficiosa, especialmente cuando el acero galvanizado se encuentra enterrado en el suelo o en el punto donde aparece en el concreto. El acero galvanizado puede ser incrustado en el hormigón de manera segura.

#### En contacto con la madera

Las maderas altamente ácidas como el roble, el cedro rojo y el pino se pueden utilizar con acero galvanizado, puesto que están aisladas del contacto directo. Algunos tipos de madera, cuando está húmeda, liberan una sustancia que suele confundir con la corrosión. A pesar de que el aspecto técnico del acero galvanizado no se vea comprometido, la estética puede verse afectada.

### A alta temperatura

Los revestimientos galvanizados resistirán la exposición a temperaturas de aproximadamente 200°C y en ocasiones hasta los 275°C, sin efecto sobre el revestimiento. Por encima de estas temperaturas, hay tendencia a que la capa externa de zinc se separe, pero la capa de aleación de hierro/ zinc, que comprende la mayor parte de la capa permanezca intacta. Por lo tanto, se puede ofrecer una protección adecuada por lo general en el punto de fusión de la capa de aleación (unos 530°C).

### En contacto con sustancias químicas.

En contacto con productos químicos requiere una consideración especial. Una amplia gama de productos químicos es compatible con el acero galvanizado. El prolongado contacto o frecuente con los ácidos y bases fuertes no es aconsejable.

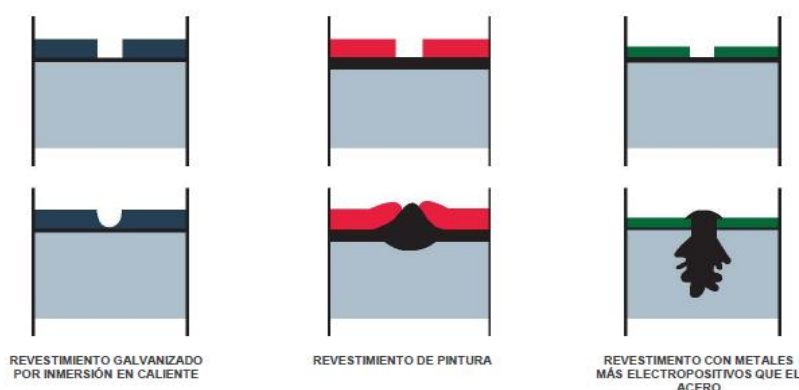
## **2.5 BARRERA DE PROTECCIÓN**

En el proceso de galvanización se forma una barrera que aísla todas las superficies internas y externas del acero del medio ambiente. Incorrectamente, el término "galvanizado" se usa a menudo para describir recubrimientos de zinc. La esperanza de vida de un recubrimiento de zinc se relaciona directamente con su grosor: los recubrimientos más gruesos tiene una vida útil más larga. La galvanización por inmersión en caliente ofrece a los productos de hierro o de acero la máxima protección a través de un vínculo entre los intermetalicos del zinc y el acero, dando como resultado una capa más gruesa, sólida y resistente.

El zinc es más negativo que el acero, por lo que el zinc produce por la corrosión preferencial en presencia de acero se sacrifica para proteger el acero. Por lo tanto el galvanizado por inmersión en caliente ofrece esta protección catódica. Los productos de corrosión de zinc, siendo adherente e insoluble, se depositan en la superficie de acero aislándolo de la atmosfera,

evitando así la corrosión. Este proceso es similar a la curación. Sin embargo, en recubrimientos de pintura, se deben aplicar medidas de protección adicionales inmediatamente después de que ocurra el daño. De lo contrario el acero puede sufrir corrosión, con el consiguiente daño a cualquier recubrimiento debido a la infiltración de la corrosión en la película de pintura.

En la **ilustración 3** podemos observar los distintos tipos de daños que puede ocasionar la corrosión frente a diferentes recubrimientos.



**Ilustración 3.** Consecuencia de los daños en diversos tipos de revestimiento que ofrecen protección contra la corrosión.

Una célula galvánica se forma. El zinc alrededor de la sección dañada sufre de corrosión. Los productos de la corrosión se precipitan sobre la superficie de acero para protegerla. En comparación con el recubrimiento de zinc, el acero también está protegido catódicamente. El acero sufre corrosión en la región que está dañada.

La corrosión se propaga entre la película de pintura y la superficie de acero, dando como resultado su separación. El proceso de corrosión continuará hasta que el daño sea reparado.

En níquel, el cromo y el cobre, por ser más electropositivos que el acero, solo otorgan una protección de barrera. Si se produce un fallo en el recubrimiento, el acero en esta región sufrirá la corrosión. La velocidad de corrosión es aún más alta en comparación con el acero no cubierto, porque actúa como el metal de sacrificio. La corrosión es normalmente alveolar y puede incluso atravesar el acero.

### 3. PREPARACIÓN DEL ACERO GALVANIZADO

La galvanización se produce solo en una superficie limpiada con químicos. Por lo tanto, la mayor parte del trabajo se hace con ese objetivo en mente. Al igual que en la mayoría de los procesos de revestimiento, el secreto para obtener un buen resultado se encuentra en la preparación de la superficie.

No debe haber grasa, suciedad ni acumulación antes de galvanizar. Estos tipos de contaminación se eliminan a través de una variedad de procesos. La práctica común es quitar la grasa mediante una solución de desengrase alcalina o ácida, en la que el material será sumergido. La pieza se lava en agua fría y por inmersión en ácido clorhídrico a temperatura ambiente para eliminar la oxidación e incrustación del maquinado.

Los residuos de soldadura, pintura y grasa pesada no se quitan en esta etapa de limpieza y deben ser removidos antes de que el material sea enviado a la galvanización. Después del paso del enjuague, las piezas deben sumergirse en una solución del compuesto con un flujo comúnmente de 30% de cloruro de amonio y zinc de 65°C a 80°C. En la etapa de flujo se eliminarán los últimos restos de óxido de la superficie para permitir una mejor interacción entre el zinc fundido y el acero.

La rica experiencia existente y un gran número de pruebas han demostrado que el galvanizado no cambiará significativamente la resistencia a la tracción, el límite elástico y el alargamiento del acero ordinario. Para el acero laminado en frío, puede ser algo pequeño. Dado que la temperatura de galvanizado (450°C) puede reducir la tensión introducida en el laminado, se pueden cambiar las características. En algunos casos, este efecto puede aumentar ligeramente la resistencia a la tracción, mientras que en otros casos, puede disminuirla. Sin embargo, estas características nunca cambiarán más del 10% de sus valores normales, por lo que no son importantes en cuanto a las características de resistencia de la estructura metálica. En artículos o estructuras metálicas con partes huecas o perfiles, se deben abrir algunos orificios de ventilación en las posiciones apropiadas para permitir que cuando

se produzca el sumergido en los distintos baños, y el zinc penetre fácilmente en las zonas huecas y el aire contenido en las mismas sea expandido totalmente y no quede ocluido en bolsas o rincones. Debido a la presión que genera la rápida evaporación del líquido o la humedad que pueda quedar en el interior, la pieza puede estallar en el baño de galvanizado. Por otro lado, dado que el zinc no puede penetrar en el interior, la pieza de trabajo no está protegida por dentro. Por tanto, si las piezas huecas sin estos agujeros llegan al taller de galvanizado, la misma planta galvanizadora tendrá que hacerlos, lo que supone un coste adicional para los clientes.

A la hora de seleccionar los puntos donde realizar los orificios, hay que tener en cuenta la posición en que la pieza entrará en el baño de galvanización, que normalmente es formando un cierto ángulo con la horizontal.

En la **tabla 2** podemos ver la relación entre los diámetros para los orificios recomendados de ventilación, en función del tamaño de los perfiles huecos.

| Diámetro del perfil (mm) | Diámetro mínimo del agujero (mm) |
|--------------------------|----------------------------------|
| <25                      | 10                               |
| 25-50                    | 12                               |
| 50-100                   | 16                               |
| 100-150                  | 20                               |
| >150                     | Consultar con el galvanizador    |

Tabla 2. Diámetros recomendados para los orificios de ventilación.

### 3.1 PROCESO DE GALVANIZADO

Cuando una pieza limpia de acero se sumerge en zinc fundido, la reacción metalúrgica entre el hierro y el zinc forma una serie de capas intermetálicas. La velocidad de reacción entre el acero y el zinc es generalmente parabólica en el tiempo, y por lo tanto, la velocidad inicial de reacción es muy rápida. Se puede observar mucha agitación en el baño de

zinc. El grosor principal de la capa se forma durante este periodo. Posteriormente, la reacción se hace más lenta y el espesor del recubrimiento no se incrementa significativamente, aunque la pieza se quede en el tanque durante un periodo de tiempo más largo. La duración típica de la inmersión es de unos cuatro o cinco minutos, pero puede ser más larga para las piezas pesadas que tienen alta inercia térmica o cuando el zinc penetre los espacios interiores. En la extracción de la pieza del baño de galvanización, se forma una capa compuesta prácticamente de zinc puro debido a la fricción del baño. Después del enfriamiento, podemos ver el aspecto brillante asociado con los productos galvanizados.

El tratamiento posterior a la galvanización puede incluir enfriamiento en agua o aire. Las condiciones en la planta de galvanizado como la temperatura, humedad y calidad del aire no afectan a la calidad del recubrimiento galvanizado aunque si son extremadamente importantes para la calidad de la pintura. En la **ilustración 4** podemos observar la disposición de los baños.

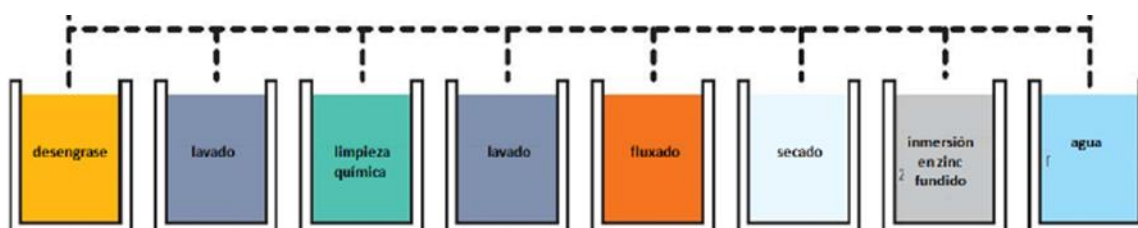


Ilustración 4. Diagrama de flujo del proceso de galvanizado.

#### 4. PROCESO INDUSTRIAL. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

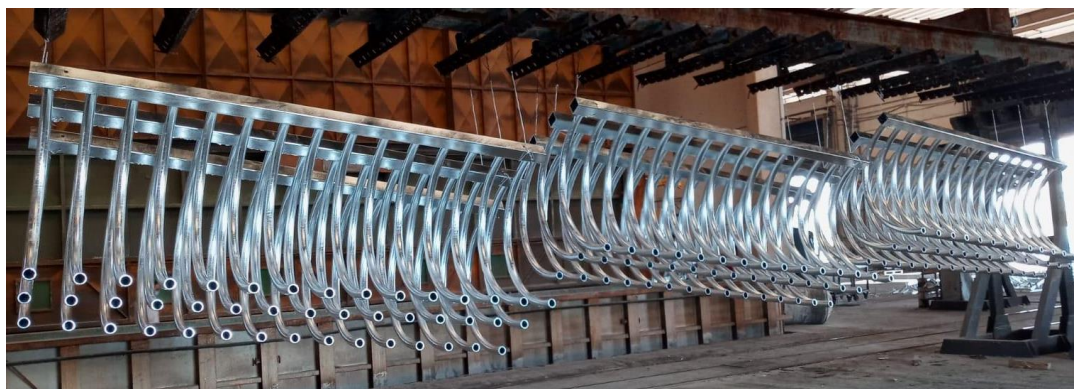
La secuencia de cubas situadas en la nave, está compuesta por nueve baños y una estufa, de modo: un baño de desengrase, 6 baños de decapado, uno de lavado, uno de fluxado, un horno, un baño de crisol, y uno de enfriamiento. El objetivo principal del tanque dispuesto frente al crisol es acondicionar la superficie de la pieza de trabajo para lograr una galvanización

adecuada. Los baños que están después del crisol, tienen como objetivo aumentar el brillo y la resistencia de la superficie de las piezas. La **ilustración 5** muestra las piezas de acero preparadas para empezar el proceso del galvanizado. Podemos observar que tiene una inclinación, ésta es necesaria para garantizar que el galvanizado es perfecto, y no usamos más del debido.



**Ilustración 5.** Piezas en bruto antes de ser galvanizadas.

En la **ilustración 6** se puede observar como lucen las piezas después del galvanizado.



**Ilustración 6.** Piezas después de ser galvanizadas.



#### 4.1 FUNCIÓN DE LOS BAÑOS DE LA PLANTA

En la **ilustración 7** podemos ver como es el proceso de galvanizado que vamos a exponer a continuación. Todos los baños tienen unas dimensiones de 12,5x 1,8x 3m.

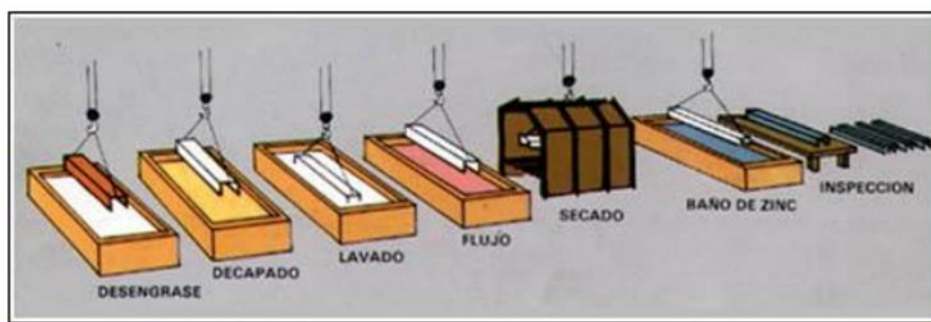


Ilustración 7. Representación del proceso de galvanizado.

#### 4.2 BAÑO DE DESENGRASE

El objetivo que tiene esta etapa es la de limpiar la superficie de las piezas de, polvo, rastros de aceite, pequeñas inclusiones procedentes de los procesos de fabricación del acero. Si en esta etapa no eliminamos las grasas que puedan contener las piezas, los posteriores baños se contaminarán. Esta etapa es fundamental para garantizar que el proceso de galvanizado se lleva a cabo de una forma correcta.

La composición que tiene este baño es de 188m<sup>3</sup> de agua, 21 m<sup>3</sup> de ácido clorhídrico al 33% y 420kg de un líquido que contiene una alta concentración de emulgentes especialmente eficaces en medio ácido.

Este baño funciona en un rango de temperaturas entre 35 y 45°C, la duración de la inmersión varía según la cantidad de piezas que lleve la percha, el material del que estén fabricadas y la geometría de estas.

La agitación que tiene este baño se consigue mediante aire comprimido que se introduce al baño a través de dos tuberías situadas verticalmente en las

esquinas opuestas del baño y orientadas de tal forma que impulsa la circulación del fluido.

### **4.3 BAÑOS DE DECAPADO DE LA PLANTA**

En la planta hay nueve baños de decapado, esto se hace para tener cadencia de producción, si hay mucho volumen de trabajo e ir metiendo distintas perchas en distintos baños. Esta etapa es fundamental en el proceso de galvanizado y conlleva un tiempo en comparación con las demás etapas que forman el proceso, por esta razón es importante decapar en varios baños.

El objetivo de esta etapa es la eliminación de los óxidos metálicos, la cascarilla de fabricación, el óxido del recocido y el orín de las piezas para que queden químicamente limpias, pero sin llegar a atacar la superficie del acero. Para que el metal no sea muy atacado, se añaden inhibidores. Esta etapa tiene que cumplir con la norma ISO 8501.

La composición de estas cubas son del 50% de agua, 50% de ácido clorhídrico.

La temperatura a la que trabaja este baño es a temperatura ambiente. El tiempo de duración de la inmersión es la misma que en el caso del baño de desengrase.

La agitación también es la misma que en el baño de desengrase, con dos tuberías verticales en las esquinas opuestas del baño y orientadas de tal forma que impulsa la circulación del fluido.

### **4.4 BAÑO DE PREFLUXADO O ENJUAGUE DE LA PLANTA**

La función de este baño es de eliminar de la superficie de las piezas los restos de la disolución del baño anterior, para, como hemos dicho anteriormente, eliminar la posible contaminación. De los siguientes baños. La presencia de hierro en el baño del crisol, produce la formación de matas de

zinc, una aleación hierro-zinc sólida que está formada por 25 partes de zinc frente a una de hierro, lo que provoca un consumo mayor del metal.

En el inicio la cuba está compuesta por agua en su totalidad pero a medida que vamos introduciendo piezas, la composición del baño va cambiando, ya que se van acumulando impurezas por las piezas que vamos introduciendo. Van formándose sales ferrosas e hidratos férricos.

La temperatura a la que trabaja este baño es a temperatura ambiente. El tiempo de inmersión de las piezas, varía igual que en los casos anteriores, pero en este caso no se mantienen mucho tiempo sumergidas ya que este baño tiene como objetivo el enjuague de las mismas.

#### **4.5 BAÑO DE FLUXADO DE LA PLANTA**

La función de este paso es la de activar la superficie de acero hacer más fácil su reacción con el zinc. Al introducir las piezas en el baño, se forma una capa de sales cristalizadas que potencia la difusión intermetálica del zinc sobre el hierro cuando las piezas son sumergidas en el crisol. De este modo se asegura un buen galvanizado, con capas de zinc perfectamente unidas a la superficie metálica de las piezas a tratar. Por otra parte, como el baño está formado por cloruro de amonio por lo que se obtiene un efecto de un decapado suplementario.

Este baño está formado inicialmente por agua, cloruro de zinc y cloruro de amonio, formando una sal doble en proporción 56/44, con una concentración de 1400g/l. Al ir introduciendo piezas la composición del baño irá cambiando, porque, aunque tenga preflux, en la superficie de las piezas aún sigue habiendo ácido clorhídrico y cloruro ferroso procedente de la etapa anterior, de los baños de los decapados, por lo que en la composición irán apareciendo sales ferrosas e hidróxidos de hierro.

La temperatura a la que trabaja este baño es entre 45-50°C, al igual que anteriormente el tiempo de inmersión depende de la cantidad de piezas, el material y la geometría de las mismas. El rango de pH en el que tiene que estar esta cuba está entre 4-5, lo que permite que los iones hierro arrastrados de

etapas anteriores precipiten como hidróxidos y al mismo tiempo se mantenga el poder decapante del baño.

#### 4.6 ESTUFA CALEFACTORA

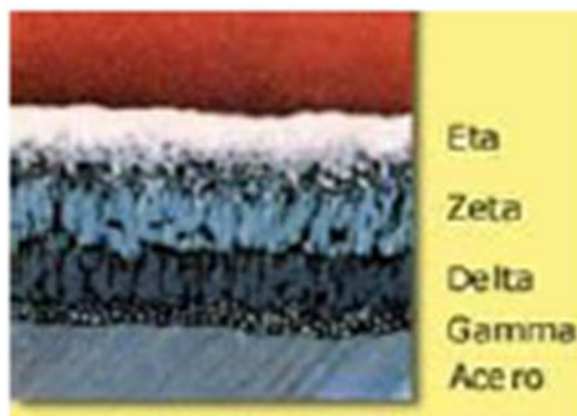
La estufa calefactora está dentro de la secuencia de baños porque está situada entre ellos. Las piezas van al crisol y su función es la de secar la superficie de las piezas para que las salpicaduras que puedan producirse de zinc sean las mínimas posibles. Estas salpicaduras se producen introduciéndolas en un baño de zinc fundido a 450 ° C. Esto se debe a que después del pretratamiento, el agua unida a estos fragmentos se evaporará inmediatamente.

La forma de la estufa es de prisma rectangular y está colocada como el resto de baños, con un metro de altura aparente. Está construida de acero y reforzada con perfilería de acero soldado entre sí formando una malla. Las paredes internas se encuentran recubiertas con ladrillos. Tiene una colada aislante ligera a base de vermiculita y cemento fundido y colada aislante de medio peso, a base de pedrisco aislante y cemento fundido.

#### 4.7 CRISOL DE LA PLANTA

Este baño es el primordial dentro del proceso, debido a que aquí se produce el galvanizado. Las dimensiones de este baño son 12,5x1,8x3 m. Las piezas se sumergen en un baño de zinc fundido que se encuentra a una temperatura de 445-465°C, el zinc reacciona por difusión con el acero de las piezas y crea por difusión con el acero de las piezas y produce capas de Zn-Fe con un espesor variable. Las capas que se crean son las cuatro que se observan en la **ilustración 8** y se denominan “gamma”, “delta”, “zeta” y “eta” esta última es la más externa y está formada por zinc puro en su totalidad. Esta capa se forma cuando se enfría y solidifica el zinc arrastrado del baño y que otorga a la pieza una apariencia característica gris metálico brillante. Las otras

tres capas gamma, zeta y delta son más duras que el acero base, por este motivo el acero está cubierto de los daños mecánicos.



**Ilustración 8. Capas del recubrimiento del galvanizado.**

El tiempo de inmersión suele ser entre uno o dos minutos dependiendo del espesor de la pieza. Si la pieza supera el espesor de 10cm el tiempo de inmersión debe de ser de unos 10 minutos aproximadamente. La velocidad de inmersión y extracción son muy importantes a la hora de la propiedades del producto.

La velocidad de inmersión debe ser lo más alta posible, para conseguir la exposición al zinc dure el mismo tiempo para todas las piezas y el espesor que alcancen sea uniforme en toda la superficie.

Sin embargo la de extracción ha de ser lenta para evitar que aparezcan gotas y grumos en la superficie, consiguiéndose que el zinc no aleado que queda sobre la superficie reaccione con el sustrato y se formen más compuestos Zn-Fe.

Si controlamos la reacción, la composición de la parte externa es la misma que la del baño de zinc, obteniendo así la unión metalúrgica entre el recubrimiento y el metal base.

Al inicio del proceso, la velocidad de la reacción es muy alta, y es ahí cuando se forma el espesor principal del recubrimiento, por lo que es difícil obtener una capa fina. Más tarde la reacción se frena y este espesor no aumenta de tamaño.

En la parte superior del baño tiene que estar siempre limpia, antes y después de introducir las piezas, quitando la capa de óxido de zinc que se forma en la superficie del baño en forma de cenizas, con el uso de rasquetas. Para evitar así que se sedimenten en las piezas y el proceso de galvanizado sea defectuoso. Cuando las piezas salen del baño, se rascan o se sacuden para eliminar el zinc sobrante que queda en la superficie. Los lingotes de la **ilustración 9**, es el zinc que añadimos al crisol, que tiene una pureza de 99,5%. Debemos tener cuidado con el zinc refundido, porque puede tener un contenido elevado en hierro, lo que puede causar la formación de las matas de zinc que anteriormente hemos comentado, estas terminan por atacar las paredes del baño.



**Ilustración 9. Lingotes de zinc.**

A las cubas le añadimos otros metales para obtener efectos beneficiosos en el proceso o en la calidad del producto, estos metales suelen ser plomo, aluminio, magnesio y el níquel.

El plomo ayuda a eliminar las matas de zinc. Ya que éste pesa más, el fondo del baño se cubre totalmente con plomo líquido, por lo que queda protegido de la formación de matas. Debido a su presencia, aumenta la densidad del líquido del baño, lo que hace que sea más fácil drenar los desechos cuando los sacamos del baño, evitando así la formación de grumos.

Se añaden lingotes de aluminio al baño, como se muestra en la **ilustración 10** para facilitar el escurrido del zinc lo que hace que mejore la uniformidad del recubrimiento. Aparte este metal logra reducir la velocidad de oxidación del zinc fundido, consiguiendo así minimizar las pérdidas de zinc.



**Ilustración 10. Lingotes de aluminio.**

Otro metal es el magnesio que se presenta en una proporción aproximada al 0,03%, este metal ayuda a la resistencia a la corrosión del recubrimiento.

El níquel también se añade a las cubas para controlar la reacción excesiva de ciertos aceros con zinc fundido, porque esto hará que disminuya la velocidad de reacción, logrando así una reducción en el espesor del recubrimiento, haciendo que la apariencia sea más suave y brillante.

Existen otro tipo de constituyentes que se presentan acompañando al zinc fundido y que son impurezas del metal, como pueden ser el hierro, el cobre y el cadmio.

El hierro es otro metal que podemos encontrar en la cuba de galvanizado, es significativo prestar atención a la proporción existente en el baño, ya que es muy poco soluble en el zinc fundido y cualquier parte por encima del 0,02% creará matas de zinc, que descansan en el fondo del baño. Estas matas de zinc han de eliminarse cada cierto tiempo del fondo de la cuba, ya que la solubilidad del hierro varía con la temperatura, cuanto más baja es esta mayor cantidad de matas se eliminarán.

El cobre es otro residuo que suele aparecer en el proceso del galvanizado. En cantidades bajas añadir cobre suele aumentar el crecimiento de la capa de aleación.

Otra sustancia que podemos encontrar como impureza es el cadmio, que generalmente está presente en pequeñas cantidades de acuerdo con la pureza del zinc.

#### **4.8 BAÑO DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA**

Como su propio nombre indica, en este baño se produce el enfriado de las piezas. Estas proceden del baño del zinc fundido, donde salen a 400°C hasta la temperatura ambiente, para posibilitar la manipulación y la inspección en la zona de descuelgue.

Este procedimiento se sigue para los casos en que enfriar se tenga que realizar de un modo rápido, normalmente en piezas que no sean capaces de presentar deformaciones. Las que si sean susceptibles a la deformación se enfrían dejándolas un tiempo a en la zona de la salida del crisol, donde se enfría con el aire que entra a la nave por las puertas laterales.

#### **4.9 BAÑO DE PASIVADO DE LA PLANTA**

El propósito del baño es cubrir la pieza de trabajo con película de cromo para mejorar su resistencia a la corrosión y hacer que la superficie de la pieza de trabajo sea más brillante.

El baño está compuesto por un 99% de agua y un 1% de un producto llamado Novocoat 80, una solución acuosa que contiene cromo hexavalente, con una densidad de 1,08g/cm<sup>3</sup> y pH 2,5. Esta solución se usa para la formación de capas de conversión sobre el acero galvanizado, que suponen un aumento de la adherencia, de la resistencia y de la protección ante el manchado del material que aparece durante el almacenamiento y transporte.



El resultado del proceso de galvanizado dependen de las características de los baños que anteriormente expuestas, por ello es necesario mantenerlos vigilados continuamente.

#### **4.10 LA CAPACIDAD UNITARIA DE LOS BAÑOS**

Son de un volumen de  $68\text{m}^3$  ( $12,5\text{m} \times 1,8\text{m} \times 3\text{m}$ ). Cada baño está formado por un armazón realizado en hierro recubierto por una capa de epoxi y una capa de pintura. El recubrimiento interior es de chapa de polipropileno de 20mm de espesor sobre las cinco paredes.

Las cubas están dispuestas sobre soportes de madera, y estos sobre vigas de hierro que a su vez descansan sobre el hormigón; no van atornilladas ni soldadas para favorecer la sustitución o el desmontaje.

Los baños cuentan con una pared en la que se encuentran el intercambiador de calor y la rejilla de ventilación por aspiración.

Para la protección de baños de cualquier rotura que pudiera producirse por choques durante la introducción de las piezas, las paredes están reforzadas con chapa de acero y forrados con otra capa de polipropileno formando una estructura tipo sándwich.

Entre las cubas hay una separación de .tienen en el fondo una válvula de mariposa en vitón, situada en la parte frontal para facilitar el vaciado y limpieza mediante una conexión de un tubo de 110mm de diámetro que comunica con la planta de almacenamiento, con el objetivo de evitar riesgos de derrames y fugas asociados a tuberías y válvulas.

Las cubas de decapado y de desengrase están dotadas de un sistema de agitación y de calefacción para mejorar su eficacia. La agitación es posible mediante inyección de aire comprimido a través de tuberías perforadas colocadas en esquinas opuestas de los baños, favoreciendo así la circulación continua del fluido y prolongando su vida útil.

#### **4.11 NORMA DE ENSAYOS MATERIALES**

En las pruebas de materiales, se verifica el cumplimiento de las propiedades del recubrimiento de la superficie de las piezas galvanizadas, dichas propiedades se especifican en una norma básica, la norma española e internacional UNE EN ISO 1461:2010 “recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabado de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo”

Además de esta norma UNE, para las piezas galvanizadas que van a formar parte de las instalaciones pertenecientes a la empresa Red Eléctrica de España, S.A., existe una especificación técnica de protección contra la corrosión mediante el revestimiento por galvanizado en caliente que exige que las piezas cumplan las condiciones indicadas en la norma UNE EN ISO 1461 con una serie de complementos. En dicha especificación técnica se recogen:

- Las características de los recubrimientos sobre piezas de acero u otros materiales féreos, obtenidos por inmersión en cinc fundido.
- Los métodos de ensayo para determinación y evaluación de dichas características
- Los planes de muestreo para evaluar y determinar dichas características
- Los criterios de aceptación y rechazo de las piezas evaluadas

A continuación se analiza la norma UNE EN ISO 1461 y seguidamente la especificación de Red Eléctrica Española.

#### 4.11.1. Norma UNE EN ISO 1461:2010

Es la norma que la asociación técnica española de galvanización y las empresas que forman parte de ella, tienen en cuenta para la inspección y la determinación de la calidad de sus recubrimientos.

La norma detalla que las propiedades que sirven de criterio para determinar la calidad de los recubrimientos son el aspecto superficial, el espesor y la adherencia.

Antes de empezar a estudiar cada propiedad determinante en la calidad del recubrimiento, conviene definir una serie de términos para entender perfectamente indicación de la norma.

- **Masa del recubrimiento:** masa total de zinc y/o de aleaciones de zinc-hierro por unidad de superficie, expresada en gramos por metro cuadrado
- **Espesor del recubrimiento:** espesor total de zinc y/o aleaciones de zinc-hierro, expresado en micrómetros.
- **Superficie significativa:** parte de la pieza cubierta o a cubrir por el recubrimiento, para la que el recubrimiento juega un papel esencial en cuanto a su utilización y/o su aspecto.
- **Área de referencia:** área en cuyo interior tienen que efectuarse un número especificado de medidas individuales.
- **Muestra de control:** pieza o grupo de piezas tomadas de un lote con fines de control.

- **Espesor local de recubrimiento:** el valor promedio del espesor de recubrimiento, que se obtiene de un número específico de mediciones en el área de referencia a través de una prueba magnética
- **Espesor medio de recubrimiento:** valor medio de los espesores locales determinados sobre una pieza de gran tamaño, o bien sobre todas las piezas que constituyen la pieza de control.
- **Masa local de recubrimiento:** valor de la masa de recubrimiento obtenido mediante un solo ensayo gravimétrico.
- **Masa media de recubrimiento:** valor medio de las masas de recubrimiento obtenidas sobre una muestra control.
- **Valor mínimo:** en el interior de un área de referencia, la medida más baja obtenida a partir del número especificado de medidas en un ensayo magnético.
- **Lote de inspección:** pedido o entrega individual
- **Áreas sin recubrir:** áreas de la superficie de los artículos de hierro o acero que no reaccionan con el zinc fundido.

Para evaluar las propiedades de cada lote de piezas galvanizadas, no se miden todas las piezas, ya que pueden llegar a estar formados por miles de piezas, se toman un número determinado de piezas que conforman una muestra control. La norma indica el número mínimo de piezas que han de

constituir cada muestra de control, según sea el número total de piezas del lote a inspeccionar.

En la **tabla 3** indica el número mínimo de piezas a tomar de cada lote, para formar una muestra de control.

| Número de piezas que forman el lote para la inspección | Número mínimo de piezas en la muestra control |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 a 3                                                  | Todas                                         |
| 4 a 500                                                | 3                                             |
| 501 a 1200                                             | 5                                             |
| 1201 a 3200                                            | 8                                             |
| 3201 a 10000                                           | 13                                            |
| >10000                                                 | 20                                            |

**Tabla 3. Número mínimo de piezas que forman la muestra de control en función del número de piezas que forma el lote de inspección.**

Después de determinar el número mínimo de características de determinación de calidad del recubrimiento galvanizado a inspeccionar, analice cada una de estas características por separado:

### **Aspecto**

En la inspección del aspecto de la superficie significativa de todas las piezas galvanizadas, debe comprobarse que está exenta de:

- Ampollas
- Rugosidades
- Puntos punzantes
- Zonas no recubiertas
- Sales de flujo
- Grumos y cenizas de zinc

Al examinar el aspecto de la superficie significativa de las piezas hay que tener cuidado y no confundir con causas de rechazo ciertas características

de la superficie que pueden provocar confusión en la persona que inspecciona, como pueden ser:

- Las zonas grises oscuras
- Una irregularidad superficial
- Las manchas de almacenamiento humero (productos de corrosión blancos u oscuros, constituidos por óxidos básicos de zinc)

En caso de que, durante la inspección visual, se rehacen piezas, estas deben reacondicionarse o galvanizarse de nuevo y someterse después a una nueva inspección visual

### **Espesor**

Ésta es la más relevante de las tres propiedades, ya que la duración de la protección frente a la corrosión que proporcionan los recubrimientos aplicados mediante galvanización en caliente es proporcional al espesor de la capa de zinc adquirida.

Es importante, antes de señalar los valores de espesor indicados por la norma, comentar los métodos que pueden utilizarse para su determinación. Existen dos métodos, el método gravimétrico y el magnético.

Método gravimétrico: determina la masa de zinc depositada sobre una pieza de área conocida, tomada del producto o artículo que se desea ensayar, por diferencia de masa entre la probeta antes y después de disolver el zinc con ácido clorhídrico y solución de cloruro de antimonio, galvanice la superficie del cilindro de acero y el cilindro mismo. Al dividir el valor obtenido por la densidad nominal del recubrimiento (7,2 g / cm<sup>3</sup>), el valor de masa de zinc depositado se puede convertir en espesor local (micras).

Este es el método al que se recurre en caso de arbitraje. No se utiliza en el control de calidad rutinario del taller de galvanización, ya que se trata de un método destructivo y su realización requiere un tiempo considerable.

Método magnético: en este método el espesor del recubrimiento se determina mediante aparatos que miden la atracción magnética entre un imán y el metal base, que está influenciada por la presencia del recubrimiento. Se realizan medidas individuales de espesor sobre una superficie muy pequeña.

Si el número de medidas realizadas sobre un área de referencia es suficiente, se obtendrá el mismo espesor local por el método magnético que por el método gravimétrico.

Este método es más apropiado de medida de espesores dentro del taller de galvanización y es el que se utiliza en el control de la rutina de calidad.

Según la norma, excepto en caso de litigio, debe utilizarse un ensayo no destructivo para la determinación del espesor, a no ser que el cliente acepte que sus piezas puedan cortarse para hacer determinaciones de pérdida de masa.

Las medidas de espesor han de ser representativas de toda la superficie de la pieza, por lo que antes de realizarlas es importante decidir el número de áreas de referencia en las que se va a dividir la pieza, su situación y su tamaño.

La selección del número de áreas de referencia se hace en función del tamaño de las piezas que constituyen la muestra de control, siguiendo las indicaciones de la norma.

La **tabla 4**, elaborada con la información extraída de la norma, indica el número de áreas de referencia seleccionadas en función de la superficie de la pieza.

| Superficie significativa de la pieza (m <sup>2</sup> ) | Número de áreas de referencia |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------|
| $S > 2$                                                | 3                             |
| $1 < S < 2$                                            | 2                             |
| $0,1 < S < 1$                                          | 1                             |
| $S < 0,1$                                              |                               |

**Tabla 4.** Número de áreas de referencia en función de la superficie significativa de la pieza

En cuanto a la selección del tamaño y la situación en la pieza de las áreas de referencia, la norma dice que:

- Las áreas de referencia han de tener al menos  $0,1 \text{ m}^2$  y dentro de cada una de ellas han de realizarse como mínimo cinco lecturas magnéticas individuales.
- No deben realizarse medidas de espesor en superficies resultantes de cortes o áreas situadas a menos de 10mm de los bordes, ni en las esquinas, ni en superficies que hayan sido cortadas con soplete.

Los valores de espesor del recubrimiento varían según sea el espesor de la pieza, la norma establece los valores de espesor mínimo que han de tener los recubrimientos de las piezas galvanizadas en función del espesor. La **tabla 5** indica una serie de consideraciones a tener en cuenta al medir los espesores:

| Espesor de la pieza (mm)    | Espesor local del recubrimiento ( $\mu\text{m}$ ) | Espesor medio del recubrimiento( $\mu\text{m}$ ) |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Acero $\geq 6$              | 70                                                | 85                                               |
| $6 > \text{Acero} \geq 3$   | 55                                                | 70                                               |
| $3 > \text{Acero} \geq 1,5$ | 45                                                | 55                                               |
| Acero $< 1,5$               | 35                                                | 45                                               |
| Pieza moldeadas $\geq 6$    | 70                                                | 80                                               |
| Piezas moldeadas $< 6$      | 60                                                | 70                                               |

**Tabla 5. Espesores locales y medios en función del espesor de la pieza.**

- Para cada área de referencia el espesor del recubrimiento ha de ser mayor o igual al espesor local del recubrimiento correspondiente indicado en la **tabla 5**.
- El espesor medio de todas las áreas de referencia de una muestra tiene que ser mayor o igual al espesor medio del recubrimiento correspondiente indicado en la **tabla 5**.



- Las lecturas magnéticas individuales pueden ser inferiores a los valores indicados en la **tabla 5**.
- El valor medio del recubrimiento en cada área de referencia tiene que ser mayor o igual al espesor local de recubrimiento correspondiente indicado en la **tabla 5**.

Cuando una muestra de control no cumple los requisitos de recubrimiento medio, se debe volver a medir sobre el número de piezas del lote para ensayo que las tomadas inicialmente. Si esta nueva muestra de control ampliada es conforme, todo el lote debe aceptarse. Si no lo es, las piezas que no cumplan con los requisitos deben rechazarse a no ser que el cliente autorice si regalvanización.

### **Adherencia**

Actualmente, no existe una norma ISO que estipule la prueba de adhesión de recubrimientos galvanizados en productos de acero.

Normalmente no es obligatorio analizar la adherencia entre el recubrimiento de zinc y el metal base, porque el mismo procedimiento se caracteriza por facilitar una unión adecuada para resistir una manipulación coherente con la naturaleza y el espesor del recubrimiento y conveniente a un empleo normal del producto galvanizado sin que se produzcan desprendimientos o exfoliaciones.

En el caso en los que sea necesario ensayar la adherencia, para casos en los que las piezas metálicas van a estar sometidas a solicitudes mecánicas elevadas, cualquier ensayo debe realizarse únicamente sobre las zonas en las que la adherencia sea esto es importante para el uso previsto y siempre es el resultado de un acuerdo entre el cliente y el galvanizador. Para las piezas que no están cubiertas por el galvanizado porque no reaccionan con el zinc fundido, la norma considera el tratamiento de restauración.

Para una pieza que se pueda reacondicionar ha de cumplir unos requisitos:

El conjunto de las superficies de la pieza a reacondicionar no debe superar el 0,5% de la superficie total de la misma.

Cada superficie no recubierta no debe medir más de 10cm<sup>2</sup>

Cuando la superficie no recubierta excede estos valores, debe galvanizarse nuevamente, a menos que el cliente y el galvanizador acuerden lo contrario.

Métodos de reacondicionamiento:

- Mediante proyección térmica de zinc.
- Pintura rica en zinc.
- Barras de aleación de zinc.

Cuando el cliente nota algún requisito especial para las piezas, el galvanizador debe informar al cliente sobre el método de reparación recomendado antes de la aplicación. El tratamiento debe incluir la limpieza, la eliminación de óxido y cualquier otro tipo de pretratamiento que sea necesario para garantizar la adherencia.

El recubrimiento de las zonas reacondicionadas debe de cumplir una serie de requisitos:

Presentar un espesor de recubrimiento al menos 30 veces superior a los valores indicados en la **tabla 5**, salvo que el cliente indique lo contrario al galvanizador.

Ser capaz de proporcionar protección de sacrificio al acero sobre el que se aplique.

#### 4.11.2. Especificación técnica de Red Eléctrica Española.

Esta especificación técnica se utiliza para verificar el recubrimiento de las piezas galvanizadas que forman parte del equipo de la empresa Red Eléctrica de España, S.A. En ella se recogen las características de los recubrimientos, los métodos de ensayo para su determinación y evaluación y el establecimiento de planes de muestreo y criterios de aceptación y rechazo.

La especificación indica que las piezas destinadas a las instalaciones de Red Eléctrica de España, S.A, cumplirán las condiciones indicadas en la norma UNE EN ISO 1461 con una serie de complementos.

Las características que se utilizarán como estándar para determinar la calidad de los recubrimientos galvanizados en caliente son la apariencia de la superficie, la continuidad y uniformidad del recubrimiento, el espesor y la

adhesión del recubrimiento, que se analizarán por separado y se incluirán en este análisis. Suplemento a la norma EN ISO 1461.

### **Aspecto superficial.**

La inspección del aspecto superficial se realizará sobre la totalidad de las pérdidas presentada a recepción. El recubrimiento debe ser liso, uniforme, y libre de manchas, y las partes deben estar libres de burbujas, escorias o golpes de soldadura, flujo, cenizas o manchas visibles a simple vista.

La pieza de trabajo no debe tener pequeñas bolas o depósitos de zinc, para no interferir con su ensamblaje normal o causar inconvenientes o peligro durante la operación. El aspecto superficial se verificara por inspección ocular. Las características a controlar deben cumplir con las instrucciones. En algunos casos, el revestimiento puede tener un aspecto gris oscuro, lo que en sí mismo no se consideraría una desventaja del galvanizado.

### **Continuidad y uniformidad del recubrimiento**

El recubrimiento debe tener continuidad y uniformidad para que los bloques de zinc se distribuyan uniformemente y no haya áreas expuestas en la superficie.

Para verificar la continuidad y uniformidad del recubrimiento, se puede probar por inmersión en sulfato de cobre de acuerdo con la norma UNE 7.183. Para pasar con éxito la prueba, las piezas galvanizadas deben soportar al menos 6 inversiones de sulfato de cobre.

Este ensayo podrá ser sustituido por la medida del espesor del recubrimiento. No obstante, el inspector de REE podrá solicitarlo cuando lo considere oportuno.

El número de piezas pertenecientes al lote a las que se les realiza la inspección de continuidad y uniformidad, se selecciona en función del total de piezas que conformen el lote, como se indica en la **tabla 6**.

| Número de piezas en el lote | Número de piezas en muestra de control |
|-----------------------------|----------------------------------------|
| 2-50                        | 2                                      |
| 51-500                      | 3                                      |
| 501-3500                    | 5                                      |

**Tabla 6.** Número de piezas que forman la muestra de control según el número de piezas totales del lote.

En estos tres casos, independientemente del número de piezas que se inspeccionarán, no se aceptan piezas que no cumplan con los requisitos de continuidad y uniformidad.

### **Adherencia**

El recubrimiento no debe despegarse a simple vista; además, debe estar completamente adherido para garantizar que la continuidad y la uniformidad de la capa no cambien durante las operaciones de transporte y montaje.

Según la especificación técnica de REE, la verificación de la adherencia realiza de acuerdo a los indicado en la normal UNE 37.501 “Galvanización en caliente, características y métodos de ensayo”. Ésta es una norma que se encuentra anulada por la norma UNE EN ISO 1461:1999 desde el 23 de Mayo del 2002.

La norma UNE EN ISO 1461:2010 actualmente vigente no recopila información sobre posibles pruebas para verificar el cumplimiento, por lo tanto, se recurre a la anulada en la cual se hacía referencia a los distintos métodos existentes.

Las pruebas de verificación de adherencia varían según el proceso de galvanizado de las piezas. El proceso que realiza la planta, es un proceso de galvanizado discontinuo en caliente por inmersión en un baño de cinc fundido, por lo tanto los ensayos recogidos en la norma UNE 37.501, únicamente son aplicables el de acuchillado y el de martillado.

- Ensayo de acuchillado:
  - ✓ Se utiliza para la determinación de la adherencia del recubrimiento sobre superficies de artículos diversos.
  - ✓ Consiste en aplicar la punta de un cuchillo poco afilado sobre la superficie del recubrimiento
- Ensayo de martillado:
  - ✓ Se utiliza para inspeccionar la adherencia en superficies planas de recubrimientos galvanizados de elementos estructurales de acero de 8mm o más de espesor, pero es aplicable para inspeccionar recubrimiento de espesor superior a 120 micrómetros.
  - ✓ Consiste en realizar dos o más huellas sobre la superficie de la pieza galvanizada, mediante la percusión con un martillo de dimensiones, masa y forma normalizadas.

La inspección de la adherencia no se realiza a todas las piezas que componen un lote, si no que se realiza un muestreo en el cual se selecciona un número determinado de piezas en función del tamaño del lote.

La especificación técnica indica el número de piezas a inspeccionar y los criterios de aceptación y rechazo según el número total de piezas que componen el lote. La **tabla 7** recoge dicha información, señalando el número de piezas a inspeccionar, el número de piezas aceptadas sin cumplir la especificación y el número de piezas que se pueden rechazar por no cumplirla, según sea el tamaño del lote inspeccionado.

| Tamaño del lote<br>(Nº de piezas) | Número de<br>muestras | Piezas<br>aceptadas | Piezas<br>rechazadas |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| <b>Hasta 15</b>                   | 2                     | 0                   | 1                    |
| <b>16 a 50</b>                    | 3                     | 0                   | 1                    |
| <b>51 a 150</b>                   | 5                     | 0                   | 1                    |
| <b>151 a 500</b>                  | 8                     | 1                   | 2                    |
| <b>501 a 3200</b>                 | 13                    | 1                   | 2                    |
| <b>3201 a 35000</b>               | 20                    | 3                   | 4                    |

Tabla 7. Muestreo para inspeccionar adherencia y espesor

### **Espesor del recubrimiento**

Como se señaló anteriormente en la introducción del estándar de calidad de recubrimiento evaluado por el estándar UNE EN ISO 1461:2010, el espesor del recubrimiento es la propiedad más relevante ya que la cantidad de zinc adquirida por la superficie de la pieza al galvanizarse proporcionara una protección proporcional contra la corrosión.

La especificación de REE indica valores mínimos puntuales y valores mínimos medios de espesor del recubrimiento en función del espesor del material, dicho valores se recogen en la **tabla 8**.

| Espesor<br>del<br>material<br>(mm) | Espesor del<br>recubrimiento (valores<br>mínimos) |                                   |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                    | <b>Espesor<br/>puntual<br/>(µm)</b>               | <b>Espesor<br/>medio<br/>(µm)</b> |
| <b>e &gt; 5</b>                    | 75                                                | 90                                |
| <b>5 &lt; e &gt; 2</b>             | 70                                                | 80                                |

Tabla 8. Espesores del recubrimiento en función del espesor del material.

La verificación del espesor de recubrimiento se realiza preferentemente, por el método no destructivo. Se realiza no menos de 5 medidas puntuales, para determinar el valor mínimo y medio del espesor de recubrimiento en cada pieza, que deberán cumplir lo indicado en la **tabla 8**.

Igual ocurre con el resto de propiedades, cuando se inspección el espesor del recubrimiento, no se somete a ensayo todas las piezas que componen el lote, si no que se selecciona y se inspecciona un número determinado de piezas.

Especificaciones técnicas sobre el número de piezas a inspeccionar y los estándares de aprobación y falla de las piezas utilizadas en el proceso de inspección espesor del recubrimiento, coinciden con los usados en la inspección de la adherencia de la superficie de las piezas galvanizadas y pueden consultarse en la **tabla 8** que aparece anteriormente.

## **5. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO ACTUAL**

A continuación detallamos los análisis que se realizan en el laboratorio, junto con los procedimientos que se llevan a cabo.

### **5.1. Procedimiento de medida de la densidad.**

#### ***FINALIDAD***

El objetivo es la descripción del procedimiento por el cual medimos la densidad de las muestras que provienen de los baños de la planta. Esta medida es un parámetro fundamental en el control de la actividad de algunos de los baños.

## REFERENCIAS

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. (UNE-NE-ISO 439)

Procedimiento normalizado de recogida de muestras.

## CONCEPTOS

*Densímetro*: es un instrumento de medición que sirve para determinar la densidad relativa de los líquidos sin necesidad de calcular antes su masa, conductividad y temperatura. Normalmente, está hecho de vidrio y consiste en un cilindro hueco con un bulbo pesado en uno de sus extremos para que pueda flotar en posición vertical.

*Areómetro Baumé*: es un aparato destinado a medir la densidad de líquidos. El areómetro al sumergirlo en el líquido problema, debe quedar flotando. La profundidad a la que se sumerge depende de la densidad del líquido en el cual está sumergido, de modo que el nivel de la línea de flotación marca en la escala la densidad a medir. La siguiente fórmula nos convierte los grados Baumé en las unidades de densidad.

$$\text{Densidad} = 144,32 / (114,32 - ^\circ\text{Be}) \quad 1$$

## PROCEDIMIENTO

Se toma una probeta de 250ml perfectamente lavada y se enjuaga con un poco de la muestra a la que se le requiere determinar la densidad\*.

Se llena una probeta con la disolución a la que se le quiere determinar la densidad.

Se elige un densímetro entre los de diversas graduaciones que se tienen en el laboratorio y se introduce cuidadosamente en la probeta.

Si se observa que al soltarlo se va hacia el fondo esto indica que se requiere un densímetro de densidades mayores. Se retira de la probeta, se



limpia y se seca y se toma otro densímetro de graduación mayor. Así hasta dar con el adecuado.

Ya con el densímetro adecuado, se coloca sobre la superficie del líquido y se deja caer imprimiéndole un movimiento de rotación con los dedos de forma que caiga girando.

Cuando el densímetro pare, tomar la probeta con la mano y elevarla hasta conseguir que el nivel del líquido quede a la altura de los ojos y así permita hacer una adecuada lectura de la escala.

\*En el caso de que se vaya a medir la densidad de muestras que se acaban de extraer del baño, dichas muestras, llegan al laboratorio en una probeta perfectamente identificada y la medida de la densidad comenzaría en el apartado c.

## **5.2. Procedimiento de ácido clorhídrico en disolución.**

### ***FINALIDAD***

El objetivo es la determinación del ácido clorhídrico de las muestras proveniente de los baños de pretratamiento, desengrase, decapados y preflux, de la empresa galvanizadora.

### ***ALCANCE***

Este procedimiento se usará para todas las determinaciones de ácido clorhídrico que se realicen en el laboratorio. Este parámetro es indicativo del poder decapante de baños, fundamental en la actividad de algunos baños.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO 439)

Procedimiento normalizado de medida de densidad.

Procedimiento normalizado de recogida de muestras.

## **CONCEPTO**

*Reacción ácido-base o neutralización:* es una reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo sal y agua

*Valoración ácido-base:* Es una técnica o método de análisis cuantitativo muy usada, que permite conocer la concentración desconocida en una disolución de una sustancia que pueda actuar como ácido, neutralizada por medio de una base de concentración conocida, o bien sea una concentración de base desconocida neutralizada por una solución de ácido conocido.

## **PROCEDIMIENTO**

*Reactivos necesarios:*

*Hidróxido sódico 1N*

*Anaranjado de metilo*

*Agua desionizada*

*Material necesario:*

*Matraces Erlenmeyer de 250 mL*

*Probeta de 250mL*

*Pipeta de 2mL*

*Bureta de 25mL*

*Embudo*

*Pipeteador*

*pH-metro*

Preparar 3 matraces Erlenmeyer de 250 ml perfectamente limpios y secos.

Elegir la muestra a la que se le quiere determinar la concentración de ácido clorhídrico, que se encuentra identificada con el nombre del baño, la fecha y la hora a la que fue recogida.

Medir la densidad de la muestra siguiendo el procedimiento específico de medida de densidad.

Tomar dos mililitros de dicha muestra, utilizando una pipeta de 2ml

Introducir dos mililitros en cada matraz Erlenmeyer y adicionar 150ml de agua desionizada y unas gotas de indicador naranja de metilo a cada uno.

Llenar la bureta de hidróxido sódico 1N, el agente valorante, y enrasar.

Proceder a valorar, una a una las disoluciones que se encuentran en los matraces Erlenmeyer, añadiendo, poco a poco, pequeñas cantidades de agente valorante.

Observar continuamente el color de la disolución, para detectar rápidamente el cambio de color que indica el punto de equivalencia. Usar simultáneamente el pH-metro para detectar la neutralización ya que a veces los precipitados de hierro formados durante la valoración impiden ver con claridad el viraje del indicador.

En el momento que se alcance el punto de equivalencia de la reacción, determinado mediante la visualización del viraje del indicador y/o mediante la utilización del pH-metro. Detener la adición de agente valorante y anotar el volumen gastado.

Repetir tres veces la misma secuencia de operaciones, realizando tres valoraciones, una por matraz.

## **CALCULOS**

Calcular la media de los tres datos de volumen de agente valorante gastado, uno por cada valoración.

Obtener la expresión de cálculo de la concentración de ácido clorhídrico, teniendo en cuenta la concentración del agente valorante, la densidad de la muestra recogida del baño y las diluciones realizadas.

$$\%HCl = \frac{M_{NaOH} \cdot V_{NaOH} \cdot f \cdot P_{mHCl}}{V_{valorado} \cdot \frac{V_{muestra}}{V_{disolucion}} \cdot \delta_{muestra}}$$

$$\%HCl = \frac{1 \left( \frac{mol}{l} \right) \cdot V_{NaOH(ml)} \cdot 1.36,5 \left( \frac{g}{mol} \right)}{152 (ml) \cdot \frac{2 (ml)}{152 (ml)} \cdot \delta_{muestra} \left( \frac{g}{l} \right)} \cdot 100 \quad 3$$

### 5.3. Verificación de la calibración y utilización del medidor de pH y temperatura

#### **FINALIDAD**

El objetivo es describir el protocolo de verificación de la calibración y describir el procedimiento de medida de pH y temperatura de muestras líquidas.

#### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-EN-ISO 439)

Procedimiento normalizado de recogida de muestras.

#### **CONCEPTOS**

*pH-metro*: Sensor o instrumento que consiste en determinar el pH de una disolución, mediante la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio que es sensible al ion hidrogeno.

#### **PROCEDIMIENTO**

Prepara las soluciones tampón de pH 7.01 y pH 4.01 vertiendo pequeña parte de cada de cada solución en cuatro vaso limpios, dos para cada pH, uno para enjuagar el electrodo y otro para calibrar.

Seleccionar el modo pH en el medidor.

Escoger 2 de las 5 soluciones tampón memorizadas: pH 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01, para realizar una calibración en dos puntos que permita conseguir una óptima precisión. Lo más apropiado es escoger una solución central como 7.01 y elegir otra según sean las características de acidez y basicidad de las muestras a medir, como las muestras medidas en el laboratorio donde se encuentra ese pH-metro, son de tipo ácido, se elige la solución tampón de pH 4.01.

Retirar el capuchón de protección y enjuagar el electrodo en uno de los vasos de la solución 7.01.

Sumergir el electrodo de pH aproximadamente unos 4 cm en el otro vaso de la solución tampón 7.01 y agitarlo cuidadosamente manteniendo la sonda de temperatura lo más cerca posible del electrodo.

Pulsar la tecla CAL, el display del medidor visualiza la función CAL activada y en la segunda línea aparece una de las 5 soluciones tampón memorizadas.

Mantener pulsada la tecla de la flecha ascendente/°C hasta que aparezca en la pantalla 7.01 valor de pH de la solución tampón que vamos a medir.

La pantalla mediante el mensaje intermitente "NOT READY" indica que la lectura no es estable.

Cuando la medida se estabiliza lo señala mediante dos mensajes: "READY" y "CON"

Pulsar la tecla CFM, para confirmar la calibración y esperar la respuesta del medidor en la pantalla.

Si la lectura es cercana a la solución seleccionada, el medidor la almacena y aparece en la línea principal de display el valor de la solución y en la secundaria el valor de otra de las soluciones tampón memorizadas.

Cuando la lectura es cercana a la solución seleccionada, el medidor la almacena y aparece en la línea principal de display el valor de la solución y en la secundaria el valor de otra de las soluciones tampón memorizadas.

Ajustado el primer punto de calibración, correspondiente a la primera solución tampón (7.01), se procede de la misma manera para ajustar el

segundo punto representado por la segunda solución tampón seleccionada (4.01)

Se enjuaga el electrodo en uno de los vasos preparados con la muestra tampón 4.01 y se sumerge en el otro vaso preparado con esa misma solución agitándolo cuidadosamente, junto con la sonda de la temperatura.

Tal y como se hizo en el paso “g”, se busca que aparezca en la parte inferior de la pantalla el valor 4.01.

De nuevo cuando la lectura del medidor es estable, aparece en la pantalla los mensajes : “ready” y “CON”

Pulsar la tecla CFM y de la misma manera que con el primer punto de ajuste esperar la respuesta en pantalla (paso j)

Si la lectura es cercana a la solución seleccionada, la calibración en dos puntos ha finalizadas, se calibran la pendiente y la deriva, se almacenan en la memoria y el equipo vuelve automáticamente al modo de operación.

Una vez lo tenemos calibrado, procedemos a medir el pH de la disolución, tenemos que tener en cuenta la temperatura, ya que el pH está directamente afectado por este valor. El equipo cuenta con un sistema automático de compensación de temperatura que corrige el valor de pH medido en función de la temperatura de la solución y que actúa cuando el electrodo de pH y la sonda de temperatura se encuentran sumergidos en la solución.

Restirar el capucho de protección, enjuagarlo con un poco de la muestra a analizar y sumérgelo junto con la sonda de temperatura en dicha muestra.

Encender el equipo, comprobar el modo de funcionamiento en el que se encuentra y si no es el de pH pulsa RANGE hasta que cambie dicho modo.

Esperar a que el electrodo se adapte a la solución y se estabilice. En caso de que la temperatura de la muestra sea muy diferente de la temperatura a la cual se ha mantenido el electrodo, esperar unos minutos para que se alcance el equilibrio térmico entre ellos.

Una vez estabilizado y alcanzado el equilibrio térmico, aparecerá en la pantalla los valores de pH y temperatura de la muestra.

#### **5.4. Determinación de hierro y cloruro de hierro en disolución.**

##### ***FINALIDAD***

El objetivo es la determinación del hierro y del cloruro de hierro en las muestras líquidas recogidas de los baños de la planta de galvanizado.

##### ***ALCANCE***

Este procedimiento será utilizado en todas las determinaciones de hierro y del cloruro de hierro que se realicen. La cantidad de hierro es un factor muy importante, ya que si sobrepasa unos límites la finalidad del baño puede verse afectada.

##### ***REFERENCIAS***

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-EN-ISO 439)

Procedimiento normalizado de medida de densidad.

##### ***CONCEPTOS***

**Reacción de óxido-reducción:** reacción en la que hay un intercambio de electrones entre dos sustancias, en la que una de ellas se oxida y otra se reduce.

La *oxidación* es un proceso de pérdida de electrones, y la *reducción* un proceso de ganancia de electrones.

##### ***PROCEDIMIENTO***

*Reactivos necesarios:*

KMnO<sub>4</sub> 0,1N

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado

Agua desionizada

*Material necesario:*

Matraz aforado de 100ml

Vaso de precipitado de 100mñ

Pipetas de 10ml(2)

Matraces Erlenmeyer de 100ml (3)

Bureta de 100ml

Provea de 250ml

Embudo

Pipeteador

Elegir la muestra a la que se quiere determinar la concentración de hierro y cloruro de hierro, que se encuentra identificada con el nombre del baño, la fecha y la hora a la que fue recogida.

Medir la densidad de la muestra utilizando el procedimiento normalizado de medida de densidad.

Preparar una disolución al 10% v/v de 100ml, tomando 10ml de la muestra y llevándolos a un matraz aforado de 100ml que se completa con agua desionizada.

Preparar 3 matraces Erlenmeyer de 100ml perfectamente limpios y secos.

Introducir en cada matraz Erlenmeyer de 100ml, 10ml de la disolución preparada en el matraz aforado y añadirle unas gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado para evitar la descomposición del permanganato durante la valoración.

Llenar la bureta de 100ml con permanganato potásico 0,1N el agente valorante, y enrasar.

Proceder a valorar, una a una, las disoluciones que se encuentran en los matraces Erlenmeyer, añadiendo, poco a poco, pequeñas cantidades de agente valorante desde la bureta.

Observar continuamente el color de la disolución y detener la adicción de agente valorante en el momento en el que la disolución del matraz pasa de incolora a rosada, momento en que todo el Fe<sup>+2</sup> se ha oxidado a Fe<sup>+3</sup> y punto final de la valoración.



## CALCULOS

Calcular la medida de los tres datos de volumen de agente valorante gastado, uno por cada valoración.

Obtener la expresión de cálculo de la concentración de hierro +2 y de cloruro de hierro, teniendo en cuenta la concentración del agente valorante, la densidad de la muestra recogida del baño y las diluciones realizadas.

$$\%Fe^{+2} = \frac{M_{KMnO_4} \cdot VKMnO_4 \cdot f \cdot P_{mFe}}{V_{valorado} \cdot \frac{V_{muestra}}{V_{disolucion}} \cdot \delta_{muestra}} \quad 4$$

$$\%Fe^{+2} = \frac{0,02 \left( \frac{mol}{l} \right) \cdot V_{NaOH(ml)} \cdot 5 \cdot 55,84 \left( \frac{g}{mol} \right)}{10 (ml) \cdot \frac{10 (ml)}{100 (ml)} \cdot \delta_{muestra} \left( \frac{g}{l} \right)} \cdot 100 \quad 5$$

$$\%FeCl = \frac{M_{KMnO_4} \cdot VKMnO_4 \cdot f \cdot P_{mFeCl}}{V_{valorado} \cdot \frac{V_{muestra}}{V_{disolucion}} \cdot \delta_{muestra}} \quad 6$$

$$\%FeCl = \frac{0,02 \left( \frac{mol}{l} \right) \cdot V_{NaOH(ml)} \cdot 5 \cdot 126,7 \left( \frac{g}{mol} \right)}{10 (ml) \cdot \frac{10 (ml)}{100 (ml)} \cdot \delta_{muestra} \left( \frac{g}{l} \right)} \cdot 100 \quad 7$$

Sustituir en las expresiones obtenidas el volumen medio de agente valorante y el valor de la densidad de la muestra.

### 5.5. Determinación de zinc

## FINALIDAD

El objetivo conocer la concentración de zinc presente en las muestras de entrada y salida.

## ***ALCANCE***

Este procedimiento se seguirá en todos los análisis de zinc que se realicen.

Este parámetro es muy importante conocerlo ya que los útiles que sirven para colgar las piezas que se van a galvanizar, se sumergen en el baño de crisol múltiples veces y en cada inmersión adquieren una cierta capa de zinc.

## ***REFERENCIAS***

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO 439)

## ***PROCEDIMIENTO***

Limpiar bien la pieza que vamos a analizar, debemos evitar que tenga cráteres, fisuras. Debe estar bien rectificada en un torno con rugosidad suficiente y sin manchas ni huellas de dedos humanos, etc. Intentando a ser posibles colocar y medir inmediatamente al rectificado, para evitar oxidaciones, etc.

Comprobar que la presión del equipo está a 7 bar.

Bajar el electrodo, comprobando que este toque la pieza que queremos medir.

Con la muestra en la repisa se presiona el brazo móvil para que exista una continuidad eléctrica, se procede a armar el equipo con el botón POWER.

Cargamos el programa pulsando tecla F10

Creamos campos pulsando F5

Tecleamos F2 para el chispeo. Prestar atención antes del chispeo que en el dibujo del equipo no existe nada en rojo. También tener en cuenta la luz y ruido, ya que pueden ser causa de fallo.

A continuación obtenemos los valores en la pantalla del ordenador.

Para obtener los valores pulsamos F9, imprimimos los datos, y pasamos a la siguiente muestra.

Volvemos a repetir el proceso.

Con este instrumento de medida, no solo se mide el cinc presente en la pieza, también otros muchos metales, como son hierro, aluminio, cadmio, cobre, níquel, etc.

Esta es la propuesta de mejora que sugerimos para la planta de Linares, se trata del equipamiento del laboratorio, tanto de instrumentos como de reactivos.

## **6. EQUIPAMIENTO DE LABORATORIO (PROPUESTA)**

A continuación desarrollamos los análisis que proponemos para la mejora del laboratorio.

### **6.1. DETERMINACIONES AUTOMÁTICAS**

Los análisis de ácido clorhídrico y hierro son los más repetidos, ya que sus concentraciones cambian con facilidad y es esencial tenerlas controladas, ya que un buen pretratamiento es fundamental para garantizar un buen galvanizado. Las restantes mediciones deben realizarse por cada 500 toneladas de hierro galvanizado, y la determinación de ácido clorhídrico e hierro debe hacerse al menos una vez por cada 300 toneladas de hierro galvanizado.

Como los análisis de pH y temperatura se deben de efectuar a diario, por lo que se decidió utilizar un método de medición semiautomática para determinar el hierro y el ácido clorhídrico.

La determinación de ácido clorhídrico se realiza mediante reacción ácido-base, donde el punto final de la titulación se determina midiendo el valor de pH. El método es una potenciometría, donde la medición del pH se basa en la conversión de señales eléctricas obtenidas por un electrodo de vidrio (indicador) y un electrodo de referencia. Según la ley de Nernst, la señal es proporcional a la actividad de los iones  $H^+$ . De los dos electrodos, uno proporciona un potencial que depende del valor del pH de la muestra (electrodo de vidrio), y el otro es un valor siempre constante (electrodo de referencia). La reacción redox es la que determina el contenido del hierro de los baños, en la que se mide el potencial de reducción del óxido, y el método utilizado es un potenciómetro, que utiliza un medidor de pH y un electrodo metálico. Para esta determinación, es útil utilizar un electrodo de metal de oro, especialmente para soluciones ácidas donde hay hierro. El equipo seleccionado se puede observar en la **ilustración 11** permite determinar el pH, temperatura y las determinaciones de ácido clorhídrico y de hierro en 14 muestras, sin que el operario intervenga, lo que se supone una disminución muy importante del trabajo de análisis del laboratorio.



Ilustración 11. Equipo automático de análisis.

## 6.2 REACTIVOS

Para cada una de las determinaciones se requiere la utilización de unos reactivos y unos indicadores determinados. En la **tabla 9** aparecen todas las determinaciones y reactivos que se realizan en el laboratorio.

| Determinaciones<br>Reactivos  |          | HCl | Fe <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> C<br>I | ZnCl <sub>2</sub> | Cl <sup>-</sup> |
|-------------------------------|----------|-----|------------------|------------------|------------------------|-------------------|-----------------|
| Agua destilada                |          | X   | X                | X                | X                      | X                 | X               |
| Hidróxido<br>sódico           | 1N       | X   |                  |                  |                        |                   |                 |
|                               | 0.1<br>N |     |                  |                  |                        |                   |                 |
|                               | 5N       |     |                  |                  | X                      |                   |                 |
| Permanganato<br>potásico 0,1N |          |     | X                |                  |                        |                   |                 |
| Ácido<br>sulfúrico            | Con<br>. |     | X                |                  |                        |                   |                 |
|                               | 30<br>%  |     |                  | X                |                        |                   |                 |
|                               | 0.5<br>N |     |                  |                  | X                      |                   |                 |
| Ácido nítrico con.            |          |     |                  |                  |                        | X                 |                 |
| Hexametiltetramina            |          |     |                  |                  |                        | X                 |                 |
| Nitrato de plata<br>0,1N      |          |     |                  |                  |                        |                   | X               |
| Cromato potásico<br>5%        |          |     |                  |                  |                        |                   | X               |
| Ácido bórico con.             |          |     |                  |                  | X                      |                   |                 |
| EDTA 0,1N                     |          |     |                  | X                |                        | X                 |                 |

Tabla 9. Reactivos para los análisis manuales.

Del mismo modo en la **tabla 10** se muestran los indicadores necesarios para las determinaciones.

| <div>Determinaciones</div> <div>Indicadores</div> | HCl | Fe <sup>+2</sup> | Zn <sup>+2</sup> | NH <sub>4</sub> Cl | ZnCl <sub>2</sub> | Cl <sup>-</sup> |
|---------------------------------------------------|-----|------------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| Naranja de metilo                                 | X   |                  |                  |                    |                   |                 |
| Tableta indicadora merck                          |     | X                |                  |                    |                   |                 |
| Rojo de metilo                                    |     |                  | X                |                    |                   |                 |
| Naranja de Xilenol                                |     |                  |                  |                    | X                 |                 |

**Tabla 10. Indicadores necesarios para los análisis.**

### 6.3. ANÁLISIS QUIMICOS

#### 6.3.1 Recogida de muestra

##### **FINALIDAD**

El objetivo es detallar el sistema de recogida, almacenamiento e identificación de las muestras extraídas de los baños galvanizado.

##### **REFERENCIA**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO 439)

## **PROCEDIMIENTO**

### Recogida de muestras

La **ilustración 12** nos muestra el equipo de recogida de muestras que proponemos.

Lo primero que se debe que hacer es preparar el sistema de recogida de muestras, comprobando que el tubo de muestreo está limpio y que el pistón y el dispensador de peso están en perfectas condiciones.

Seleccionar los puntos en los que se va a recoger la muestra, teniendo en cuenta el baño del cual se van a extraer las muestras y cuáles son los parámetros a medir.

Preparar una probeta de 250mL perfectamente lavada e identificada con el nombre del baño del que se va a extraer la muestra, la situación dentro del baño del punto de recogida, la fecha y hora de recogida. Utilizando para ello un rotulador especial de escritura sobre vidrio, que se pueda borrar usando alcohol.

Colocarse en la zona del baño en la cual se desea recoger la muestra, introducir el dispositivo de recogida y dejarlo caer en el baño la profundidad deseada, controlándolo mediante la cuerda que se va soltando, que se encuentra graduada.

Cuando el dispositivo se sitúe a profundidad deseada, dejar caer el peso, para iniciar el mecanismo de cierre, el tubo caiga y corte la columna de agua.

Extraer el dispositivo recogiendo cuerda.

Trasvasar el contenido del dispositivo en la probeta de 250mL que anteriormente ha sido preparada.

Repetir la operación de extracción de muestras hasta recoger 250mL.

### Identificación y envasado de muestras

Se traslada la probeta, que contiene la muestra recogida, al laboratorio.

Medir la densidad de la muestra recogida del baño y trasladada en la probeta, utilizando densímetro, es necesario contener la disolución en una probeta ya que la forma y tamaño del densímetro así lo requieren.

Se toman dos vasos de recogida de muestra de 100mL y se identifican de la misma manera que se identificó la probeta, con el nombre del baño del



que se ha extraído la muestra, la situación dentro del baño del punto de recogida, la fecha y la hora de recogida. Además se asigna a uno de ellos el número 1 y a otro el número 2, para poder distinguirlos y recurrir a la muestra de reserva en el momento que sea necesario.

Se reparte el contenido de la probeta en los dos vasos de recogida de muestra anteriormente identificados y se cierran perfectamente para evitar derrames y pérdidas de la muestra.

Se coloca en vaso 1 en la zona destinada en la realización de análisis y el vaso 2 en la zona de almacenamiento destinada a las muestras de reserva.



Ilustración 12. Equipo de recogida de muestras.

### 6.3.2 Determinación de cloruro

#### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el procedimiento de la determinación de cloruro de zinc en las muestras líquidas recogidas del baño de fluxado que se sitúa en la planta.

## **ALCANCE**

Este procedimiento se seguirá en todos los análisis determinaciones de cloruro que se realicen en el laboratorio.

La existencia de esta concentración no es habitual en la composición de baños, pero puede aparecer debido a la deficiencia del llenado de las cubas de decapado. El sistema de tuberías que sirve para introducir las sustancias en los baños, consiste en una única tubería a la que se conectan todas las entradas de los baños mediante llaves de paso. En caso de que muestras se alimenta un baño la llave de entrada a otro de los baños no se encuentre cerrada adecuadamente, puede que ese otro baño se contamine con alimentación inadecuada y se produzcan sustancias impropias como ocurre con el caso de cloruro.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO 439)

Procedimiento normalizado de medida de densidad

Procedimiento normalizado de recogida de muestras

## **MATERIALES**

### *Reactivos necesarios:*

Nitrato de plata 0,1N

Cromato potásico 5%

Agua desionizada

### *Material necesario:*

1 matraz aforado de 250ml

2 matraces erlenmeyerde 100ml

1 probeta de 250ml

1 pipeta de 5ml

1 vaso de precipitado de 100ml

1 bureta de 50ml

- 1 embudo
- 1 pipeteador

### **PROCEDIMIENTO**

Elegir la muestra a la que se quiere determinar la concentración de cloruros, que se encuentra identificada con el nombre del baño, la fecha y la hora a la que fue recogida.

Prepara un matraz aforado de 250ml, añadirle 5 ml tomados la muestra mediante pipeta y enrasar con agua desionizada.

Localizar 2 matraces Erlenmeyer de 100ml y colocar en cada uno 100ml de la disolución preparada en el matraz aforado y añadirle 4 gotas de cromato potásico al 5%.

Utilizando un embudo, llenar la bureta con nitrato de plata 0,1N, el agente valorante, y enrasar.

Proceder a valorar, una a una, las disoluciones que se encuentras en los matraces Erlenmeyer, añadiendo poco a poco, pequeñas cantidades de agente valorante.

Observar continuamente el color de la disolución, para detectar rápidamente el cambio de color de pardo a rojizo que indica el punto de valencia.

Repetir dos veces la misma secuencia de operaciones, realizando dos valoraciones, una por matraz.

### **CALCULOS**

Para determinar el contenido de cloruros en las muestras:

Calcular la media de los dos datos de volumen de agente valorante gastado, uno por cada valoración.

Obtener la expresión de cálculo de la concentración de cloruros en disolución, teniendo en cuenta la concentración del agente valorante y las diluciones realizadas.

$$Cl^{-} (g/l) = \frac{M_{AgNO_3} \cdot V_{AgNO_3} \cdot f \cdot p_{mCl^{-}}}{V_{valorado} \cdot \frac{V_{muestra}}{V_{disolucion}}} \quad 8$$

$$Cl^{-} (g/l) = \frac{0,1 \left( \frac{mol}{l} \right) \cdot V_{AgNO_3} (ml) \cdot 1 \cdot 35,4 \left( \frac{g}{mol} \right)}{100 (ml) \cdot \frac{5 (ml)}{250 (ml)}} \quad 9$$

$$Ppm Cl^{-} = 1,77 \cdot 10^3 \cdot V_{AgNO_3} (ml) \quad 10$$

Sustituir en las expresiones obtenidas el volumen medio de agente valorante.

### 6.3.3 Determinación de cloruro de zinc en disolución

#### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el sistema de actuación de la determinación de cloruro de zinc en las muestras recogidas del baño de fluxado que provienen del baño de la planta.

#### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo en todas las determinaciones de cloruro de zinc que se realicen en el laboratorio.

Este componente aparece en el baño de fluxado formando una sal doble junto con el cloruro de amonio. Al introducir las piezas en este baño, las sales cristalizan y originan una delgada capa que favorece la difusión intermetálica del zinc sobre el hierro cuando las piezas son sumergidas en el crisol. Su función es activar la superficie del acero de las piezas y facilitar así su reacción con el cinc fundido.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO439)

Procedimiento normalizado de recogida de muestra

Procedimiento normalizado de medida de densidad

## **CONCEPTOS**

*Complejo químico*: sustancia química que se encuentra formada por dos componentes; un átomo metálico que actúa como ion central que se encuentra enlazado por un grupo de átomos o moléculas llamados ligando.

*Volumetría de complejación*: técnica para determinar analíticamente la concentración de un metal en una disolución. Se basa en la reacción de formación de complejos entre el valorante y el analito.

## **MATERIALES**

Ácido nítrico

Solución de EDTA  $\text{Na}_2$  0,1M

Agua desionizada

Hexametenotetramina

Anaranjado de xilenol.

Material

1pipeta de 5mL

1pipeta de 10mL

1pipeta de 25ml

1 probeta de 25ml

1 probeta de 100ml

1probeta de 250ml

1 vaso de precipitado de 100ml

3 matraz Erlenmeyer de 300ml

- 1 matraz aforado de 500ml
- 1 aerometro baume
- 1 bureta de 50ml
- 1 embudo
- 3 pipeteadores
- 1 cuentagotas
- 1 balanza

### **PROCEDIMIENTO**

Elegir la muestra a la que se quiere determinar la concentración de cloruro de zinc, que se encuentra identificada con el nombre del baño, la fecha y la hora a la que fue recogida.

Tomar 25ml de la muestra utilizando una pipeta y colocarlos en un matraz aforado de 500ml, añadir 10 ml de ácido nítrico concentrado y enrasar utilizando agua destilada.

Preparar 3 matraces Erlenmeyer de 300ml, colocar en cada uno 10 ml de la muestra preparada en el matraz aforado y adicionar 75ml de agua destilada, 5ml de ácido nítrico concentrado, 7 gotas de anaranjado de xilenol y al 0,1% y 5g de hexametiltetramina.

Esperar hasta que la hexametileno tetramina se encuentra totalmente disuelta, para que la disolución adquiera el color violeta.

Llenar la bureta con el agente valorante, EDTA Na<sub>2</sub> 0,1M.

Valorar, una a una, las disoluciones preparadas en los matraces Erlenmeyer, adicionando poco a poco agente valorante desde la bureta.

Detener la valoración cuando la disolución del matraz vire de color violeta a amarillo intenso.

Anotar el volumen de agente valorante consumido en cada valoración.

### **CALCULOS**

Calcular la media de los tres datos de volumen de agente valorante gastado, uno por cada valoración.

Obtener la expresión de cálculo de la concentración de cloruro de cinc, teniendo en cuenta la concentración del agente valorante, la densidad de la muestra recogida del baño y las disoluciones realizadas.

$$\%ZnCl_2(g/l) = \frac{M_{EDTA} \cdot V_{EDTA, f} \cdot P_{MznCl}}{V_{valorado} \cdot \frac{V_{muestra}}{V_{disolucion}} \cdot \delta_{muestra}} \cdot 100 \quad 11$$

$$\%ZnCl_2 (g/l) = \frac{0,1 \left( \frac{mol}{l} \right) \cdot V_{EDTA} (ml) \cdot 1 \cdot 136,4 \left( \frac{g}{mol} \right)}{10 (ml) \cdot \frac{25 (ml)}{500 (ml)} \cdot \delta_{muestra} \left( \frac{g}{l} \right)} \cdot 100 \quad 12$$

$$\%ZnCl_2 = 27,28 (g/L \cdot ml) \cdot (V_{EDTA} (ml) / \delta_{muestra} \left( \frac{g}{l} \right)) \cdot 100 \quad 13$$

Sustituir en las expresiones obtenidas el volumen medio de agente valorante y el valor de la densidad.

#### 6.3.4 Determinación de cloruro de amonio en disolución.

##### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el procedimiento para la determinación de cloruro de amonio en las muestras recogidas del baño de fluxado.

##### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo en todas las determinaciones de cloruro de amonio que se realicen en el laboratorio.

Este componente aparece en el baño de fluxado formando una sal doble junto con el cloruro de zinc. Al introducir las piezas en este baño, las sales cristalizan y originan una delgada capa que favorece la difusión intermetálica del zinc sobre el hierro cuando las piezas son sumergidas en el crisol. Su función es activar la superficie del acero de las piezas y facilitar así su reacción con el cinc fundido.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos (UNE-NE-ISO439)

Procedimiento normalizado de recogida de muestra

Procedimiento normalizado de medida de densidad

## **DEFINICIONES**

Destilación Kjeldahl: el método Kjeldahl consiste en el desprendimiento del amoníaco de una muestra contenida en un matraz, mediante la destilación de la disolución fuertemente alcalinizada con hidróxido sódico.

## **MATERIALES**

*Reactivos necesarios:*

HNO<sub>3</sub> concentrado

NaOH 5N

Agua desionizada

Ácido bórico 4%

Rojo de metillo

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5N

*Material:*

1pipeta de 10mL

1pipeta de 25ml

1 probeta de 50ml

1 probeta de 100ml

1 probeta de 250

2 vasos de precipitado de 100ml

1 matraz Erlenmeyer de 250ml

1 matraz de destilación Kjeldahl



1 bureta de 50ml  
Embudo  
2 pipeteadores  
1 cuentagotas  
1 balanza

### **PROCEDIMIENTO**

Elegir la muestra a la que se le quiere determinar la concentración de cloruro de amonio, que se encuentran identificada con el nombre del baño, la fecha y la hora que fue recogida.

Tomar 25 ml de la muestra utilizando una pipeta y colocarlos en un matraz aforado de 500ml, añadir 10ml de ácido nítrico concentrado y enrasar utilizando agua destilada.

En un matraz de destilación Kjeldahl colocar 50ml de la disolución preparada en el matraz aforado, añadir unos trocitos de porcelana y adición hidróxido sódico 5N en exceso, hasta conseguir que se disuelva el precipitado formado, y 50-60ml de agua destilada.

Conectar el matraz por medio de una trampa de vapor a un condensador de agua y calentar hasta que el amoniaco resultante empiece a evaporarse. Finalizar la operación cuando el contenido del matraz se haya reducido a la mitad.

Prepara un matraz Erlenmeyer de 250ml para valorar la disolución obtenida de la destilación, con 30ml de ácido bórico al 4%, 3 o 4 gotas de rojo de metilo y el destilado.

Llenar la bureta con el agente valorante, ácido sulfúrico 0,5N.

Valorar la disolución preparada en el matraz Erlenmeyer, adicionando poco a poco agente valorante desde la bureta.

Detener la valoración cuando la disolución del matraz vire a color a amarillo a rosado.

Anotar el volumen de agente valorante consumido en la valoración.

### **CALCULOS**

Obtener la expresión de cálculo de la concentración de cloruro de amonio, teniendo en cuenta la concentración del agente valorante, la densidad de la muestra recogida del baño y las disoluciones realizadas.

$$\% \text{NH}_4\text{Cl}(\text{g/l}) = \frac{M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot f \cdot P_{\text{MNH}_4\text{Cl}}}{V_{\text{valorado}} \cdot \frac{V_{\text{muestra}}}{V_{\text{disolucion}}} \cdot \delta_{\text{muestra}}} \cdot 100 \quad 14$$

$$\% \text{NH}_4\text{Cl} (\text{g/l}) = \frac{0,5/2 \left( \frac{\text{mol}}{\text{l}} \right) \cdot V_{\text{H}_2\text{SO}_4} (\text{ml}) \cdot \left( \frac{1}{2} \right) \cdot 53,4 \left( \frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)}{50 (\text{ml}) \cdot \frac{25 (\text{ml})}{500 (\text{ml})} \cdot \delta_{\text{muestra}} \left( \frac{\text{g}}{\text{l}} \right)} \cdot 100 \quad 15$$

$$\% \text{NH}_4\text{Cl} = 2,68 (\text{g/L} \cdot \text{ml}) \cdot (V_{\text{H}_2\text{SO}_4} (\text{ml}) / \delta_{\text{muestra}} \left( \frac{\text{g}}{\text{l}} \right)) \cdot 100 \quad 16$$

Sustituir en las expresiones obtenidas el volumen medio de agente valorante y el valor de la densidad.

## 6.4 Ensayo de materiales

### 6.4.1 Inspección del aspecto superficial

#### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el modo de inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta.

#### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo para la inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado y que van a formar parte de las instalaciones de la empresa Red Eléctrica Española.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

## **PROCEDIMIENTO**

Características rechazables

Existen una serie de características que suponen causa de rechazo durante la inspección de la superficie, ya que pueden perturbar la manipulación y el ensamblaje normal de las piezas.

Conviene tener presente dichas características antes de proceder a la inspección de las piezas. A continuación se enumeran algunas:

Aparición de ampollas

Restos de escorias o proyecciones de soldadura

Inclusiones de flujo

Cenizas

Motas apreciables a simple vista

Restos de zinc.

Procedimiento de inspección

Aproximarse a la partida presentada a recepción y examinar mediante inspección ocular el total de piezas que componen la partida.

Comprobar que el recubrimiento es liso, uniforme y homogéneo.

Separar de la partida las piezas que presenten uno o más de los aspectos rechazables.

No rechazar las piezas que presenten un aspecto gris mate, ya que no se considera un defecto superficial del galvanizado.

- 6.4.2 Protocolo de inspección del aspecto superficial de piezas galvanizadas, según la especificación técnica 037 de la compañía red eléctrica española.

### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el modo de inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta.

### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo para la inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado y que van a formar parte de las instalaciones de la empresa Red Eléctrica Española

### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Sagrado, S., Bonet, E., Medina, M.J., Martín, Y. (2004) Manual práctico de calidad en los laboratorios. Enfoque ISO 17025. Madrid: ediciones AENOR.

### **PROCEDIMIENTO**

Características rechazables

Existen una serie de características que suponen causa de rechazo durante la inspección de la superficie, ya que pueden perturbar la manipulación y el ensamblaje normal de las piezas.

Conviene tener presente dichas características antes de proceder a la inspección de las piezas. A continuación se enumeran algunas:

Aparición de ampollas

Restos de escorias o proyecciones de soldadura

Inclusiones de flujo

Cenizas

Motas apreciables a simple vista

Restos de cinc.

Procedimiento de inspección

Aproximarse a la partida presentada a recepción y examinar mediante inspección ocular el total de piezas que componen la partida.

Comprobar que el recubrimiento es liso, uniforme y homogéneo.

Separar de la partida las piezas que presenten uno o más de los aspectos rechazables.

No rechazar las piezas que presenten un aspecto gris mate, ya que no se considera un defecto superficial del galvanizado.

6.4.3 Inspección de la continuidad y uniformidad del revestimiento de piezas galvanizadas, según la especificación técnica 037 de la compañía red eléctrica española.

### ***FINALIDAD***

El objetivo es desarrollar el modo de inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta.

### ***ALCANCE***

Este procedimiento se llevará a cabo para la inspección del aspecto superficial de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado y que van a formar parte de las instalaciones de la empresa Red Eléctrica Española

### ***REFERENCIAS***

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Electrica Española S.A.

Procedimiento específico de medida del espesor de recubrimiento de una superficie galvanizada.

Procedimiento específico de ensayo de la uniformidad de los recubrimientos de una superficie galvanizada.

Procedimiento específico de ensayo de la uniformidad de los recubrimientos galvanizados, aplicados a materiales manufacturados de hierro y acero.

### **PROCEDIMIENTO**

Selección de piezas a inspeccionar

Contabilizar el número de piezas que forman el lote a inspeccionar

Clasificar el lote en uno de los tres grupos que distingue la especificación técnica, según el número de piezas que lo forman.

Inspección ocular

Comprobar a simple vista que el recubrimiento de las piezas es continuo y uniforme, sin presentar zonas desnudas, ni aglomeraciones de cinc.

Ensayo medida espesor

Recurrir a métodos de ensayo para la confirmación de la uniformidad y la continuidad.

Medida del espesor del recubrimiento

Se procede según indica el procedimiento de medida de espesor.

Ensayo de inmersión en sulfato de cobre.

Se procede según el procedimiento específico de ensayo de determinación de la uniformidad mediante inmersión en sulfato de cobre.

#### 6.4.4 Determinación de la uniformidad de los recubrimientos galvanizados mediante ensayo de inmersión en sulfato de cobre.

### **FINLIDAD**

El objetivo es llevar a cabo la descripción del proceso de ensayo para la determinación de la uniformidad de los recubrimientos galvanizados, aplicados a materiales manufacturados de hierro y acero.

### **ALCANCE**

Esta instrucción de trabajo está elaborada para ser utilizadas en la realización del ensayo de determinación de la uniformidad de recubrimientos galvanizados, para asegurar que el ensayo se hace siempre de la misma manera.

### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española S.A.

Normal UNE 7183 “Método de ensayo para determinar la uniformidad de los recubrimientos galvanizados, aplicados a materiales manufacturados de hierro y acero”

### **PROCEDIMIENTO**

Preparación del ensayo

Preparación de la disolución de sulfato de cobre

disolver 36 partes en peso de sulfato de cobre comercial en 100 partes en peso de agua destilada.

Calentar suavemente la disolución para conseguir la disolución total de los cristales de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ .

Dejar enfriar la disolución hasta alcanzar la temperatura ambiente

Neutralizar la disolución con un exceso de hidróxido cúprico, utilizando 18g de este reactivo por cada 20l de disolución. El reactivo sedimenta en el fondo del recipiente.

Dejar en reposo la disolución neutra de sulfato de cobre durante 24h.

Decantar o filtrar la disolución

Preparación de las probetas

Seleccionar muestras exentas de cortes o deterioros en el recubrimiento.

Tomar precauciones en caso de que la pieza presente grandes superficies no recubiertas:

Poner tapones en los materiales tubulares

Recubrir con parafina las superficies

Limpiar las probetas con un disolvente orgánico volátil, tetracloruro de carbono, gasolina o benzenol.

Lavar las probetas, primero con alcohol y después con agua limpia.

Secar las probetas con un trapo limpio de algodón.

Mantener las probetas a una temperatura comprendida entre 15°C y 21°C.

Cantidad de disolución de sulfato de cobre a utilizar

Medir el área de la probeta

Medir el peso del recubrimiento de zinc

Considerar

La relación entre masa del recubrimiento y volumen de disolución a utilizar, por cada 28,3g de recubrimiento el volumen mínimo de disolución de sulfato de cobre a utilizar es de 1134cm<sup>3</sup>.

Que la probeta durante el ensayo ha de permanecer completamente sumergida en la disolución de cobre, existiendo por encima de la parte más alta de la probeta una capa de líquido de 1,2 cm de altura.

Procedimiento operatorio

Sumergir las probetas de ensayo en la disolución de sulfato de cobre y mantenerla en posición fija durante un minuto. Evitando:

el contacto entre probetas y entre probeta y pared.

La agitación de la disolución



Extraer las probetas de la disolución de sulfato de cobre tras el primer periodo de inmersión.

Sumergir las probetas en agua de lavado y utilizando un cepillo de cerda dura, eliminar los depósitos de cobre que se hayan formado sobre el recubrimiento de cinc.

Secar con un paño limpio el agua adherida a la superficie de las probetas.

Someter las probetas al número de inmersiones sucesivas y análogas a la explicada, que indique la especificación técnicas utilizadas hasta alcanzar el punto final.

El número de inmersiones necesarias para comprobar que la uniformidad del recubrimiento es correcta, varía según el tipo de pieza de la conforme a la **tabla 11**.

| MATERIAL                       | NÚMERO DE INMERSIONES |
|--------------------------------|-----------------------|
| Perfiles y chapas              | 6                     |
| Tornillería                    | 4                     |
| Piezas forjadas y de fundición | 6                     |

**Tabla 11. Número de inmersiones según el tipo de pieza**

Comprobar tras cada inmersión si se ha alcanzado el punto final de la operación. Se distingue por la formación de un depósito de cobre brillante y adherente, que se considera representativo si al ensayar la adherencia con un cortaplumas no se produce desprendimiento que permita ver la superficie de cinc de la probeta.

## Expresión de resultados

El resultado del ensayo se expresa como el número de inmersiones que resiste el recubrimiento de cinc, en la disolución de sulfato de cobre, hasta la aparición del punto final. La inmersión en la que se detecta el punto final, no se cuenta.

6.4.5 Protocolo de inspección de la adherencia del recubrimiento, según la especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española.

### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el modo de inspección de la adherencia del recubrimiento de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado y que van a formar parte de las instalaciones de la empresa Red Eléctrica Española.

### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo para la inspección del ensayo de adherencias de recubrimiento de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado.

### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española S.A.

### **PROCEDIMIENTO**

Selección del número de piezas a medir

Contabilizar el número total de piezas que forman el lote a inspeccionar

Clasificar el lote en uno de los seis grupos que distingue la especificación técnica, según el número de piezas que lo forman. En la **tabla 12** podemos saber cuántas muestras hay que medir, dependiendo del tamaño del lote.

| Tamaño del lote (Nº de piezas) | Número de muestras |
|--------------------------------|--------------------|
| Hasta 15                       | 2                  |
| De 16 a 50                     | 3                  |
| 51 a 150                       | 5                  |
| 151 a 500                      | 8                  |
| 501 a 3200                     | 13                 |
| 3201 a 35000                   | 20                 |

**Tabla 12.** Muestras a las que se les realiza la medida, dependiendo del tamaño del lote.

Elegir el número de piezas correspondiente para proceder a la medida del espesor.

Inspección visual

Comprobar que el recubrimiento a simple vista no presenta ningún tipo de exfoliación.

Selección del método de ensayo

Medir el grosor de las piezas galvanizadas

Clasificar las piezas según el espesor:

Piezas con espesor inferior a 8mm

Piezas con espesor superior a 8mm

Elegir el método de ensayo a utilizar:

Método de acuchillado: para la determinación de la adherencia del recubrimiento sobre superficies de artículos diversos.

Método de martillado: para inspeccionar la adherencia en superficies planas de recubrimientos galvanizados de elementos estructurales de acero de 8mm o más de espesor, no es aplicable para inspeccionar recubrimientos de espesor superior a 120 micrómetros.

Realizar el ensayo elegido

Aplicar criterios de aceptación y rechazo indicados por la especificación técnicas, que varían en función del número de piezas que componen el lote. En la **tabla 13** podemos ver los criterios.

| Tamaño del lote (Nº de piezas) | Numero de muestras | Piezas aceptadas | Piezas rechazadas |
|--------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| Hasta 15                       | 2                  | 0                | 1                 |
| De 16 a 50                     | 3                  | 0                | 1                 |
| 51 a 150                       | 5                  | 0                | 1                 |
| 151 a 500                      | 8                  | 1                | 2                 |
| 501 a 3200                     | 13                 | 1                | 2                 |
| 3201 a 35000                   | 20                 | 3                | 4                 |

**Tabla 13.** Criterios de aceptación y rechazo, según el número de piezas que componen el lote

6.4.6 Protocolo de ensayo de acuchillado para la determinación de la adherencia de los recubrimientos galvanizados aplicados a materiales de hierro y acero

### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el protocolo de ensayo de acuchillado para determinar la adherencia de los recubrimientos galvanizados.

### **ALCANCE**

Este procedimiento se llevará a cabo para la realización del ensayo de acuchillado del recubrimiento de las piezas galvanizadas en la planta.

## **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española S.A.

Norma UNE 37.501 “Galvanización en caliente. Características. Métodos de ensayo”

## **PROCEDIMIENTO**

Aplicaciones

Aplicable a recubrimiento galvanizados obtenidos por métodos discontinuos de galvanización sobre artículos diversos

Preparación del ensayo

Localizar un cuchillo poco afilado

Seleccionar una zona adecuada para realizar el ensayo, evitando bordes, esquinas y ángulos interiores del material galvanizado.

Procedimiento operativo

Aplicar la punta del cuchillo sobre la superficie del recubrimiento.

Ejerciendo una fuerte presión hacia abajo y hacia delante, desplazar el cuchillo tratando de arrancar alguna porción del recubrimiento.

Observar las consecuencias del desplazamiento del cuchillo sobre el recubrimiento

Valoración de resultados

La adherencia no se considera adecuada cuando delante de la punta del cuchillo, se producen exfoliaciones o desprendimiento de pequeñas porciones del recubrimiento que dejen al descubierto el metal base.

La adherencia se considera adecuada cuando no se desprenda nada o únicamente virutas de corte o raspaduras.

#### 6.4.7 Ensayo de martillado para la determinación de la adherencia de los recubrimientos galvanizados aplicados a materiales de hierro y acero

##### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el protocolo de ensayo de martillado para determinar la adherencia de los recubrimientos galvanizados.

##### **ALCANCE**

Este procedimiento se lleva a cabo para realizar el ensayo de martillado para la determinación de la adherencia de recubrimientos galvanizados.

##### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española S.A.

Norma UNE 37.501 “Galvanización en caliente. Características. Métodos de ensayo”

##### **PROCEDIMIENTO**

###### Aplicaciones

Método aplicable a las superficies planas de los recubrimientos galvanizados de acero de 8mm o más de espesor

Método no aplicable a los recubrimientos galvanizados de espesor superior a 120 micrómetros, como suelen ser los recubrimientos obtenidos sobre aceros de alta resistencias y baja aleación con elevado contenido en carbono, silicio o fósforo.

###### Preparación del ensayo

Localizar un martillo de masa de forma y dimensiones normalizadas, montado sobre un eje.

Selección del área de ensayo, considerando que las huellas de los impactos que se van a realizar han de situarse a una distancia superior a 13mm de los bordes de la probeta.

Procedimiento operativo

Calcular adecuadamente el martillo de marta

Dejar caer el martillo por su propio peso desde la posición vertical hasta la horizontal, obteniendo como resultado una huella en la superficie.

Trasladar el martillo unos milímetros para realizar sobre la superficie otra huella situada a unos 6,5mm de la primera

Observar las consecuencias de los impactos sobre el recubrimiento alrededor de las huellas y entre ellas.

Valoración de resultados

La adherencia se considera adecuada si el recubrimiento no salta, ni se levanta en el espacio comprendido entre las huellas de los impactos.

No se considera como un fallo el agrietamiento o levantamiento de los bordes de las huellas en una anchura de 1,6mm a ambos lados de la misma.

#### 6.4.8 Inspección del espesor de recubrimiento, según la especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española, S.A.

### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el procedimiento de inspección del espesor de recubrimiento de las piezas galvanizadas.

### **ALCANCE**

Este desarrollo se lleva a cabo para la inspección del espesor de recubrimiento de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado, para asegurar que el ensayo se hace siempre de la misma manera.

## REFERENCIAS

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Especificación técnica 037 de la compañía Red Eléctrica Española S.A.

Procedimiento específico de ensayo del método gravimétrico de medida del espesor de recubrimiento.

Procedimiento específico de ensayo del método magnético de medida del espesor de recubrimiento.

## PROCEDIMIENTO

Selección del número de piezas a medir

Contabilizar el número total de piezas que forman el lote a inspeccionar.

Clasificar el lote en uno de los seis grupos que distingue la especificación técnica, según el número de piezas que lo forman. La **tabla 14** nos muestra el número de muestras que tenemos que coger, dependiendo del tamaño del lote.

| Tamaño del lote (Nº de piezas) | Número de muestras |
|--------------------------------|--------------------|
| Hasta 15                       | 2                  |
| 16 a 50                        | 3                  |
| 51 a 150                       | 5                  |
| 151 a 500                      | 8                  |
| 501 a 3200                     | 13                 |
| 3201 a 35000                   | 20                 |

Tabla 14. Número de muestras seleccionadas según el tamaño del lote.

Elegir el número de piezas correspondiente para proceder a la medida del espesor.



### Medida del espesor del recubrimiento

Seleccionar uno de los métodos de medida de espesor del recubrimiento, preferentemente uno no destructivo.

Consultar y utilizar el procedimiento de ensayo del método seleccionado.

Anotar los resultados de las medidas de espesor realizadas.

### Comprobación de resultados de medida

Medir el grosor de las piezas a las que se le ha medida el espesor del recubrimiento.

Clasificar las piezas a las que se les ha medido el espesor según su grosor en uno de los dos grupos que distingue la especificación técnica.

Comprobar si los valores puntuales y medios de espesor de recubrimiento medidos, superan o al menos igualan a los indicados por la especificación técnica. La **tabla 15** nos muestra los espesores mínimos que debe de tener la pieza, dependiendo del espesor del material.

| Espesor del material | Espesor del recubrimiento (valores mínimos) |               |
|----------------------|---------------------------------------------|---------------|
|                      | Espesor puntual                             | Espesor medio |
| $e > 5$              | <b>70</b>                                   | <b>90</b>     |
| $5 < e > 2$          | <b>70</b>                                   | <b>80</b>     |

**Tabla 15. Valores mínimos de espesor de recubrimiento en función del espesor del material**

Aplicar los criterios de aceptación y rechazo indicados por la especificación técnica, que varían en función del número de piezas que componen el lote. Podemos ver estos criterios en la **tabla 13**.

#### **6.4.9** Ensayo de determinación del espesor de recubrimiento, mediante el método magnético.

##### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el método magnético de determinación del espesor de recubrimiento de piezas galvanizadas.

##### **ALCANCE**

Esta instrucción de trabajo está elaborada para ser utilizadas en la determinación del espesor de recubrimiento de las piezas galvanizadas en la planta de galvanizado, mediante el método gravimétrico, para asegurar que el ensayo se hace siempre de la misma manera.

##### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Norma UNE 37.501 “Galvanización en caliente, características y métodos de ensayo”

##### **PROCEDIMIENTO**

Fundamento del método.

El método magnético, es un método no destructivo que determina la masa del recubrimiento utilizando instrumentos que miden la atracción magnética entre un imán permanente y el metal base, que está influido por la presencia del recubrimiento galvanizado.

Este método determinar el espesor medio del recubrimiento como media aritmética de un número determinado de medidas de espesores locales, repartidas regularmente sobre las superficies significativas de la pieza.

### Procedimiento operativo

Calibrar e equipo. Antes de realizar cualquier medida y durante su utilización el instrumento ha de ser calibrado siguiendo las instrucciones del fabricante y utilizando patrones de materiales y espesores apropiados. Para los casos en los que los equipos no pueden calibrarse, es necesario determinar su desviación respecto al valor nominal mediante comparación con los patrones y considerar esa desviación en todas las medidas.

Limpiar la superficie. Es muy importante eliminar restos de suciedad, grasa o productos de corrosión de la superficie sobre la que se va a medir.

Seleccionar la zona de la superficie de la pieza sobre la cual se va a medir, evitando medir:

Sobre las manchas de cualquier tipo, soldaduras y escorias.

En superficies curvas.

En zonas rugosas. En caso de que sea inevitable, se aumentara el número de medidas a realizar en dicha área de referencia.

Aplicar el palpador perpendicularmente a la superficie de medida con una presión constante y suficientemente elevada para realizar una medida correcta.

Leer y anotar el resultado de la medida reflejado en la pantalla.

### Precisión del método

Midiendo con un aparato adecuadamente calibrado y siguiendo un modo operatorio correcto, puede determinarse el espesor del recubrimiento con una precisión de  $\pm 10\%$  o con una aproximación de  $1,5 \mu\text{m}$ , según el mayor de estos valores.

#### 6.4.10 Ensayo de determinación del espesor de recubrimiento, mediante el método gravimétrico.

##### **FINALIDAD**

El objetivo es desarrollar el método gravimétrico de determinación del espesor de recubrimiento de piezas galvanizadas.

##### **ALCANCE**

Esta instrucción de trabajo está elaborada para ser utilizadas en la utilización del método gravimétrico para la determinación del espesor de la superficie de piezas galvanizadas, para asegurar que el ensayo se hace siempre de la misma manera.

##### **REFERENCIAS**

Procedimiento para la elaboración y control de documentos. UNE-NE-ISO 439

Norma UNE 37.501 “Galvanización en caliente, características y métodos de ensayo”

##### **PROCEDIMIENTO**

Fundamento del método.

El método determina la masa del recubrimiento sobre una muestra cuya área es conocida, por diferencia de masa entre la muestra con recubrimiento y la de la misma muestra tras disolver su recubrimiento por inmersión en una disolución de ácido clorhídrico y cloruro antimonioso.

Reactivos necesarios

Los reactivos que se utilizan son ácido clorhídrico y cloruro antimonioso.

Para realizar el ensayo se prepara una disolución con ambos reactivos en proporción de 100 cm<sup>3</sup> de ácido clorhídrico y 5cm<sup>3</sup> de cloruro antimonioso.

La disolución de cloruro antimonioso se obtiene disolviendo 20 g de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  o 32g de  $\text{SbCl}_3$  en  $1000 \text{ cm}^3$  de HCl.

La disolución preparada para realizar el ensayo puede emplearse varias veces sucesivas sin necesidad de adición suplementaria de reactivos.

El indicador de que la disolución está agotada es el tiempo de disolución del recubrimiento, la disolución ha de regenerarse cuando el tiempo requerido para disolver el recubrimiento excede los 10 minutos.

La regeneración de la disolución se realiza añadiéndole  $5 \text{ cm}^3$  de disolución de cloruro antimonioso.

#### Procedimiento operatorio

Desengrasar cuidadosamente la probeta utilizando tricloroetileno u otro disolvente orgánico que no ataque el recubrimiento de cinc.

Lavar la probeta bajo un chorro de agua y secarla con un paño de algodón limpio.

Determinar la masa de la probeta con una precisión superior al 1% de la masa que se presume en el recubrimiento.

Preparar un recipiente de ensayo con la cantidad de disolución suficiente para:

Cubrir por completo la probeta.

Dejar una distancia mínima de 20mm entre la probeta, las paredes del recipiente y el nivel de la disolución.

Impedir una elevación de la temperatura por encima de  $38^\circ\text{C}$  debido a la reacción.

Introducir la probeta en el recipiente de ensayo que contiene la disolución, mantenerla en el mientras exista desprendimiento de hidrogeno y extraerla cuando las burbujas desprendidas sean de muy pequeño tamaño.

Lavar la probeta bajo un chorro de agua utilizando un cepillo.

Secar la probeta inicialmente con un paño de algodón y finalmente mediante calentamiento a  $100^\circ\text{C}$ .

Determinar la masa de la probeta y medir el área desnuda, con al menos un 1% de precisión en cada medida.

#### Obtención de resultados

La masa del recubrimiento, expresada en gramos por metro cuadrado, se calcula mediante la expresión siguiente:

$$m_A = \frac{m_1 - m_2}{A \cdot 10^6} \quad 17$$

Dónde:

$m_1$  masa de la muestra antes de la disolución del recubrimiento expresada en gramos.

$m_2$  masa de la muestra después de la disolución del recubrimiento expresada en gramos.

A área de la superficie desnuda expresada en milímetros cuadrados

## 7 BIBLIOGRAFIA

- Bellovi, M. B. (2003). *Seguridad en el trabajo*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo.
- Cámara, C. (2004). *toma y tratamiento de muestras* . Madrid : Síntesis.
- D. William Callister, J. (1995). *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales* . Barcelona : Reverté .
- Fernández, J. G. (1984). *Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión*. Madrid : CENIM (CSIC).
- Gómez, F. R. (1980). *Introducción a los ensayos no destructivos de control de calidad de los materiales* . Madrid: INTA, 3ª edición .
- Lorenzo Portillo Sisnega, J. M. (2007). *Enciclopedia univiversal*. Madrid: DURVAN,S.A.
- Lorenzo Portillo Sisniega, J. M. (2007). *Enciclopedia universal*. Madrid: Durvan, S.A.
- Otero, E. (1997). *Corrosión y degradación de materiales*. Madrid : Síntesis.

## 8. PLANOS



SITUACIÓN

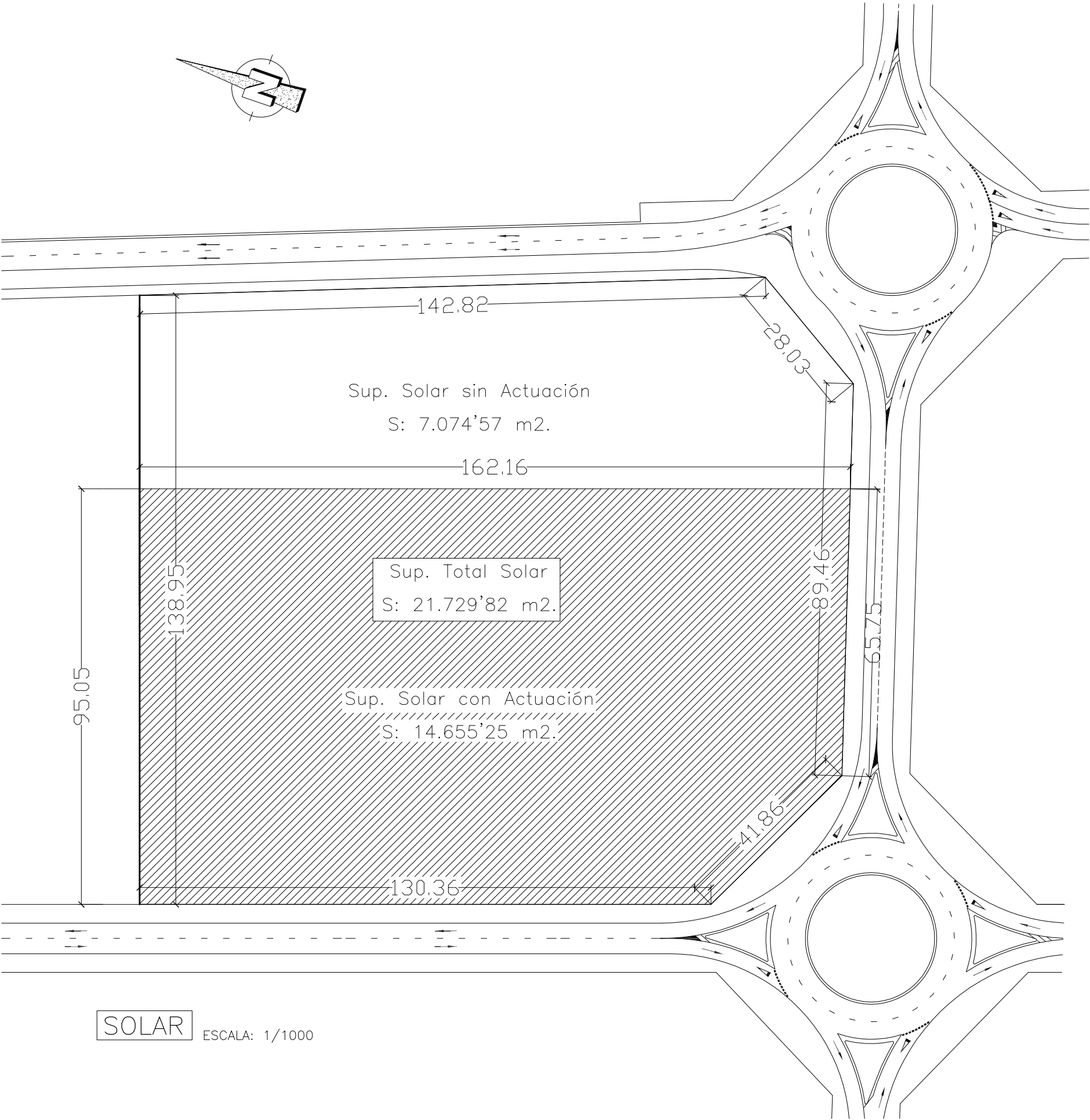
ESCALA: 1/3000

|              |                 |                |                 |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|
| PARCELA 2.9  | S = 3.198'99 m² | PARCELA 2.15.2 | S = 3.195'97 m² |
| PARCELA 2.10 | S = 3.014'91 m² | PARCELA 2.15.3 | S = 3.014'30 m² |
| PARCELA 2.11 | S = 1.566'80 m² | PARCELA 2.16.1 | S = 2.094'04 m² |
| PARCELA 2.12 | S = 1.400'03 m² | PARCELA 2.16.2 | S = 1.434'98 m² |
| PARCELA 2.13 | S = 1.398'14 m² | PARCELA 2.16.3 | S = 1.411'66 m² |

SUPERFICIE TOTAL DE PARCELAS S = 21.729'82 m²

|             |                                      |         |        |                                      |  |
|-------------|--------------------------------------|---------|--------|--------------------------------------|--|
|             | FECHA:                               | NOMBRE: | FIRMA: | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR LINARES |  |
| DIBUJADO:   | 10/10/2020                           | C.M.A.  |        |                                      |  |
| COMPROBADO: | 10/10/2020                           | C.M.A.  |        |                                      |  |
| ESCALA:     | PROCESO DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO |         |        | SITUACION                            |  |
|             |                                      |         |        | Nº DE PLANO:                         |  |
|             |                                      |         |        | SUSTITUYE A:                         |  |
|             |                                      |         |        | SUSTITUIDO POR:                      |  |





SOLAR

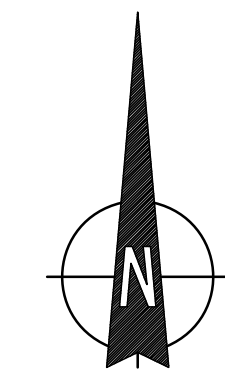
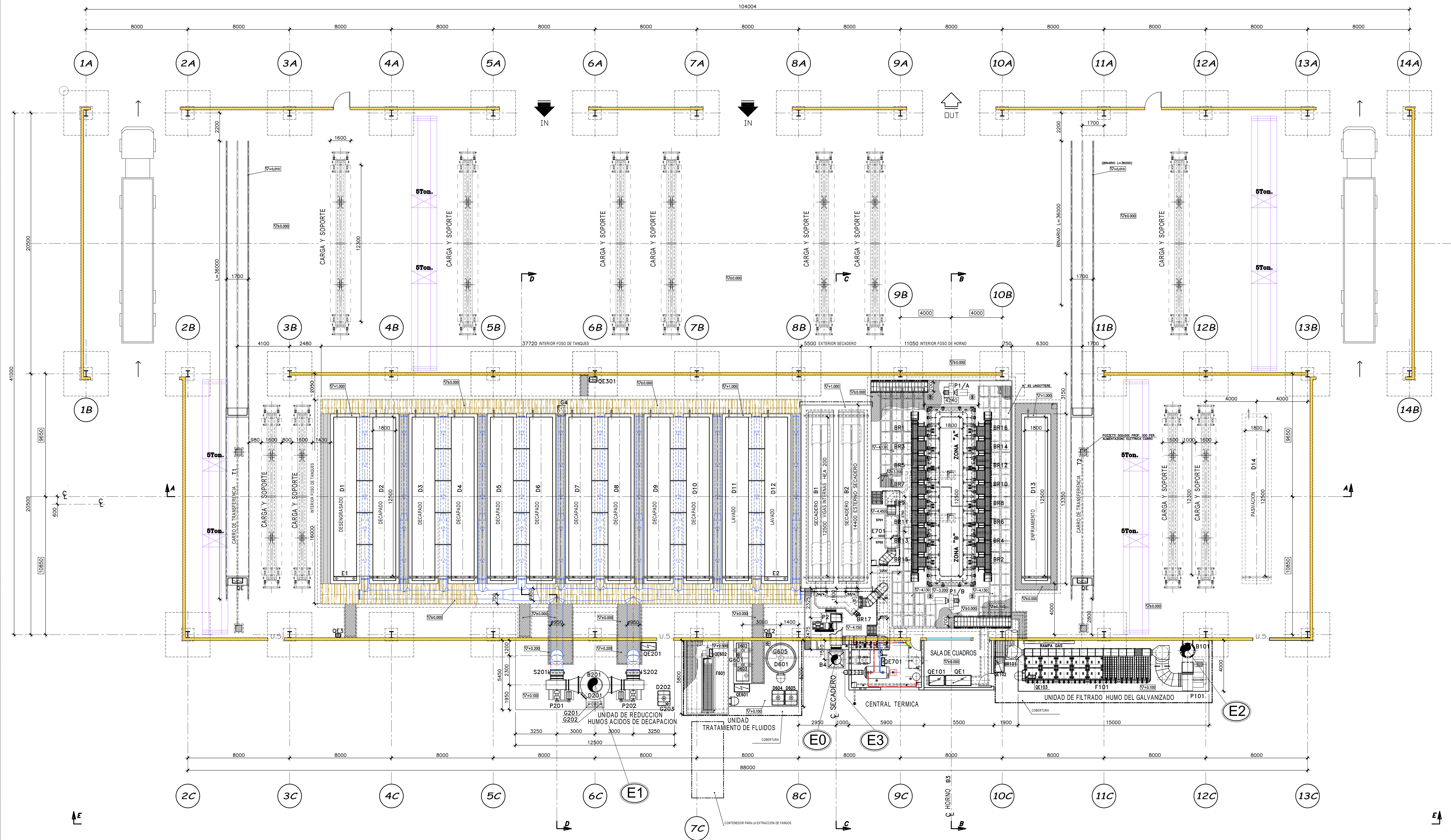
ESCALA: 1/1000

SUP. TOTAL SOLAR = 21.729'82 M2

SUP. SOLAR AFECTADA POR LA ACTUACIÓN = 14.655'25 M2  
SUPERFICIE DE SOLAR SIN ACTUACIÓN = 7.074'57 M2

|             |                                         |         |        |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|---------|--------|-----------------------------------------|
|             | FECHA:                                  | NOMBRE: | FIRMA: | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |
| DIBUJADO:   | 10/10/2020                              | C.M.A.  |        |                                         |
| COMPROBADO: | 10/10/2020                              | C.M.A.  |        |                                         |
| ESCALA:     | PROCESO DE UNA PLANTA DE<br>GALVANIZADO |         |        | Nº DE PLANO:                            |
|             | SOLAR                                   |         |        | SUSTITUYE A:                            |
|             |                                         |         |        | SUSTITUIDO POR:                         |





|             |                                         |        |                                         |
|-------------|-----------------------------------------|--------|-----------------------------------------|
| FECHA:      | NOMBRE:                                 | FIRMA: | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR<br>LINARES |
| DIBUJADO:   | C.M.A.                                  |        |                                         |
| COMPROBADO: | C.M.A.                                  |        |                                         |
| ESCALA:     | PROCESO DE UNA PLANTA DE<br>GALVANIZADO |        | Nº DE PLANO:                            |
| 1:100       | PLANTA DE PROCESO                       |        | SUSTITUYE A:                            |
|             |                                         |        | SUSTITUIDO POR:                         |