

5. PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

5.1 ¿Qué es la corrosión?

5.1.1 Corrosión por ataque directo	414
5.1.2 Corrosión por electroquímica	414

5.2 Revestimientos de protección

5.2.1 Tipos de revestimiento	414
5.2.2 Modificaciones dimensionales	415
5.2.3 Términos y definiciones	415

5.3 Eficacia protectora

5.3.1 Revestimientos finales o de acabado	415
5.3.2 Requerimientos particulares del cliente	415

5.4 Revestimientos electrolíticos

5.4.1 Objeto y alcance	416
5.4.2 Sistema de designación	416
5.4.3 Espesores aplicables	417
5.4.4 Tolerancias de roscado	417
5.4.5 Fragilización por el hidrógeno	417
5.4.6 Pasivado de cromatización	417

5.5 Revestimientos en caliente; galvanización

5.5.1 Objeto y alcance	419
5.5.2 Galvanización en caliente	419
5.5.3 Sistema de designación	419
5.5.4 Espesor: puntos y métodos de medición	419
5.5.5 Tolerancias de roscado	419
5.5.6 Fragilización por el hidrógeno	419
5.5.7 Acabado	419
5.5.8 Color	419
5.5.9 Capacidad de carga	419
5.5.10 Protección contra la corrosión	419

5.6 Otros revestimientos

5.1 ¿QUÉ ES LA CORROSIÓN?

La corrosión es el consumo o la alteración del metal debido a la reacción galvánica (electroquímica), o al ataque químico directo.

La mayor parte de los metales son estables a la atmósfera, y tienden a formar, en presencia de la humedad y del oxígeno, soluciones químicas estables como el óxido sobre el acero.

5.1.1 Corrosión por ataque directo.

La corrosión por ataque químico directo más común es la corrosión atmosférica, debida al oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, azufre y compuestos de cloro.

La presencia de humedad o de agua en el aire es determinante para el fenómeno de ataque directo.

La rapidez de la corrosión, es tanto mayor, cuanto mayor es la concentración de los productos anteriormente mencionados, presentes en la atmósfera. Las atmósferas industriales son las más corrosivas, o los ambientes salinos, como el clima del litoral. También las corrientes parásitas pueden acelerar la corrosión.

5.1.2 Corrosión electroquímica.

La corrosión electroquímica es un fenómeno de corrosión acelerada, que se verifica, cuando se unen materiales diferentes.

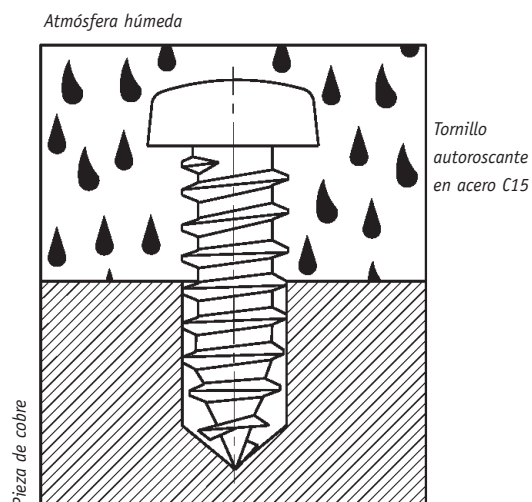
Es del máximo interés, ya que en la práctica, a menudo se verifica que, el tornillo es de material diferente respecto del alojamiento o de la pieza atornillada.

Conviene por ello recordar el fenómeno químico: cuando dos metales de diverso potencial eléctrico se unen en presencia de un tercer elemento (electrolito), se genera un ligero flujo de electrones que van del metal menos noble, poseedor de menor potencial (ánodo o polo positivo), al material más noble, de mayor potencial (cátodo o polo negativo).

Los electrones que abandonan el material menos noble para dirigirse, más o menos rápidamente, dependiendo del electrolito, hacia el material más noble, erosionando así el material, del cual parten, de manera irreparable.

Veamos que sucede en un ejemplo, como el ilustrado en la figura.

Cuando se usa un tornillo autorroscante de acero, en una chapa de cobre, y con presencia de la humedad atmosférica, que ejerce de electrolito, ocurre lo siguiente: las partículas positivas del acero migran hacia la atmósfera, absorbiendo oxígeno e hidrógeno transformándose en iones de hierro; los electrones, partículas negativas, pasan a través del acero al cobre y luego a la atmósfera, donde se combinan con el oxígeno y el agua, transformándose en iones hidroxilo. Éstos últimos, combinándose con los iones de hierro, producen el óxido de hierro, mejor conocido como herrumbre u óxido. Así nace, de esta forma, por un mala combinación de distintos metales, la corrosión.



5.2 REVESTIMIENTO DE PROTECCIÓN

La aplicación de revestimientos de protección a las fijaciones viene dada, esencialmente, para obtener una protección contra los fenómenos de la oxidación, o para dar unas características determinadas a la superficie tratada como: disminución del coeficiente de rozamiento o elevación de la conductividad eléctrica. Otra razón para la aplicación del revestimiento, sería la función decorativa.

5.2.1 Tipos de revestimientos.

Normalmente los revestimientos se clasifican de la siguiente manera:

- Revestimientos electrolíticos (galvánicos).
- Revestimientos químicos.
- Revestimientos mecánicos.
- Revestimientos en caliente.

5.2.1.1 Revestimientos electrolíticos.

Los metales más comúnmente usados son:

Nombre	símbolo	
Zinc	Zn	para todas las clases de resistencia.
Cobre	Cu	usado particularmente en electrónica.
Níquel	Ni	
Níquel-cromo	Ni-Cr	
Cobre-níquel-cromo	Cu-Ni-Cr	
Estaño	Sn	
Plata	Ag	usado en electrónica, y para alta temperatura.
Cobre-plata	Cu-Ag	usado en electrónica, y para alta temperatura.

A efectos de protección, el revestimiento de Zinc es el más usado. El cadmio, Cd, no se utiliza por ser tóxico.

5.2 REVESTIMIENTO DE PROTECCIÓN

5.2.1.2 Revestimientos químicos.

Los revestimientos químicos usados son de dos tipos:

- fosfatados
- de zinc con elementos orgánicos.

Los revestimientos fosfatados, con o sin post-tratamiento, son diferentes en función del estrato utilizado: a base de fosfato de zinc, para aplicaciones anticorrosivas; y a base de fosfato de manganeso, para aplicaciones antidesgaste.

Los revestimientos a base de zinc, cromados y sustancias orgánicas aleadas están caracterizados por la particular composición del estrato resultante y por las metodologías empleadas para su aplicación, siendo recomendados para tornillería de alta resistencia.

5.2.1.3 Revestimientos mecánicos.

Los revestimientos mecánicos se denominan así por su particular metodología de aplicación.

Generalmente, se trata de aplicaciones de zinc, estaño, y aluminio y sus aleaciones. Éstos, en estado de polvo son aplicados sobre las piezas tratadas mediante una acción de impacto mecánico. Este tipo de revestimientos son recomendados para tornillería de alta resistencia.

5.2.1.4 Revestimientos en caliente.

Por revestimiento en caliente, solo se considera la aplicación de zinc fundido. Este tipo de tratamiento no es recomendado para tornillería de dimensión pequeña o con tolerancias de ajuste muy estrechas, debido al espesor de la capa de zinc aportada.

Los revestimientos en caliente son adecuados para tornillería que deba de estar en medios de alto nivel corrosivo.

5.2.2 Modificaciones dimensionales.

El aporte del revestimiento sobre el metal base modifica las dimensiones de la tornillería y, en particular, de la rosca. Dicha modificación dimensional variará según sea la naturaleza del tratamiento dado: electrolítica, química, mecánica o por inmersión en caliente.

Es importante pues, que la tolerancia dimensional de la rosca antes de tratamiento, sea aquella que permita el aporte del espesor adecuado de tratamiento protector.

5.2.3 Términos y definiciones.

5.2.3.1 Lote.

Es la cantidad de elementos del mismo tipo, fabricados con el mismo procedimiento productivo y enviada del productor al control en una sola entrega.

5.2.3.2 Espesor local del revestimiento.

Es el espesor de revestimiento medido en un punto prefijado para el control del mismo.

5.2.3.3 Superficie significativa del revestimiento.

Es la superficie, tratada, sobre la cual viene realizada la medición del espesor local y la valoración de la eficacia de protección del revestimiento.

5.2.3.4 Espesor mínimo de revestimiento.

Es el espesor, local, mínimo del revestimiento.

5.2.3.5 Espesor medio del revestimiento.

Es el espesor teórico que se debe de obtener si el revestimiento queda distribuido, uniformemente, sobre toda la superficie de la pieza considerada.

5.2.3.6 Espesor medio del lote.

Es la media de los espesores medios de todas las piezas constituyentes de un muestreo.

5.3 EFICACIA PROTECTORA

5.3.1 Revestimientos finales o de acabado.

Todos los revestimientos considerados, excluyendo los realizados por inmersión en caliente en baño de zinc, después de la aplicación del espesor requerido, pueden ser sometidos a uno o más tratamientos finales o de acabado, para conferir, así, al metal de aporte, según el tipo de tratamiento, características particulares de resistencia a la corrosión.

En algunos casos, para revestimientos galvánicos o de fosfatación es necesario hacer un tratamiento térmico de deshidrogenización para evitar la fragilización, previo al tratamiento de acabado.

5.3.2 Requerimientos particulares del cliente.

Si por exigencias de empleo, se requiere una eficacia protectora contra la corrosión de toda la superficie del tornillo, incluso de superficies no significativas, el cliente debe prescribir la posición de tolerancia de la rosca antes del tratamiento galvánico, ya que, en relación a la protección requerida y a la longitud del tornillo, no siempre es posible satisfacer la resistencia a la corrosión prevista con la simple evaluación del espesor medio máximo permitido en las varias posiciones de tolerancia referidas en la tabla (página 416).

5.4 REVESTIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

NORMA
DIN: 267 Parte 9

ISO: 4042

NF: E 27-016

REVESTIMIENTOS. Revestimientos electrolíticos.
5.4.1 Objeto y alcance.

Estas condiciones técnicas están destinadas principalmente a elementos roscados, tornillos, y tuercas; pero también son de aplicación a todos los elementos de fijación mecánica.

Un revestimiento electrolítico se define como una capa metálica de protección, depositada sobre la superficie de los elementos de metal, por inmersión en una solución acuosa por la que circula una corriente eléctrica. La utilización del término "galvanizado" para referirse a este proceso no es adecuado.

5.4.2 Sistema de designación.

Los revestimientos electrolíticos aplicados a los elementos de fijación son designados por un código compuesto por dos letras mayúsculas y una cifra.

El código se construye como sigue:

- una letra mayúscula para el constituyente del revestimiento, tabla 1.
- una cifra para el espesor mínimo de la capa de revestimiento, tabla 2.
- una letra mayúscula para el acabado y tratamiento final, tabla 3.

Tabla 1. Metal de revestimiento.

Letra de código	Metal de revestimiento	Símbolo
A	Zinc	Zn
B	Cadmio	Cd
C	Cobre	Cu
D	Latón	CuZn
E	Níquel	Ni
F	Níquel-cromo ¹⁾	NiCr
G	Cobre-níquel	CuNi
H	Cobre-níquel-cromo ¹⁾	CuNiCr
J	Estaño	Sn
K	Cobre-estaño	CuSn
L	Plata	Ag
N	Cobre-plata	CuAg

¹⁾ Espesor de la capa de cromo = 0,3 mm

Tabla 2. Espesor mínimo de capa (construcción de revestimiento)

Cifra de código	Espesor μm	
	1 metal de revestimiento	2 metales de revestimiento
0 ¹⁾	–	–
1	3	–
2	5	2 + 3
3	8	3 + 5
4	12	4 + 8
5	15	5 + 10
6	20	8 + 12
7 ²⁾	25	10 + 15
8 ²⁾	32	12 + 20
9 ²⁾	40	16 + 24

¹⁾ La cifra de código 0 se aplica en roscas por debajo de M 1,6, para las que un espesor específico no puede ser dado.

²⁾ No es aplicable en piezas roscadas.

Tabla 3. Acabado y tratamiento final.

Letra de código	Acabado	Cromación en concordancia con DIN 50 941. Método	Color de la capa de cromado
A	mate	ninguno ¹⁾	ninguno
B		B	azulado hasta ligera iriscación ²⁾
C		C	amarillo irisado hasta un amarillo oscuro
D		D	verde oliva hasta un oliva oscuro
E	blanqueado	ninguno ¹⁾	ninguno
F		B	azulado hasta ligera iriscación ²⁾
G		C	amarillo irisado hasta un amarillo oscuro
H		D	verde oliva hasta un oliva oscuro
J	brillante	ninguno ¹⁾	ninguno
K		B	azulado hasta ligera iriscación ²⁾
L		C	amarillo irisado hasta un amarillo oscuro
M		D	verde oliva hasta un oliva oscuro
N	pulido	ninguno	–
P	arbitrario	B, C o D ³⁾ a discreción del fabricante	como métodos B, C o D
R	mate	F	oscuro-negro hasta negro
S	blanqueado	F	
T	brillante	F	

¹⁾ Sin embargo para el Zn y el Cd, método A en conc. con DIN 50941 (cromac. transparente).

²⁾ Solo se aplica para el Zn.

³⁾ Los métodos B, C o D en concordancia con DIN 50 941 se aplican solo para los revestimientos de cadmio y zinc. En caso de otros revestimientos el código "P" significa "acabado arbitrario".

5.4 REVESTIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

Código de pedido de los revestimientos electrolíticos para los elementos de fijación corrientes de comercio

Diámetro nominal	Revest.	Zinc-cromatado				Níquel	Cobre níquel	
	Acabad.	Brillante				-	-	
	Pulgada	Color	Ninguno	Azulado	Amarillo	Negro	-	-
<5	<3/16"		A1J	A1K	A1L	A1T	E1J	G2J
≥5 <10	≥3/16" <3/8"		A2J	A2K	A2L	A2T	E2J	G2J
≥10	≥3/8"		A3J	A3K	A3L	A3T	E3J	G3J

Ejemplo de codificación:

A3L significa revestimiento electrolítico de zinc (A en la tabla 1), con un espesor nominal de 8 µm (3 en la tabla 2), y cromatado amarillo con un acabado brillante (L en la tabla 3).

Ejemplo de designación:

Tornillo de cabeza hexagonal DIN 961 - M16 x 60 - 8.8 - A3L.

5.4.3 Espesores aplicables.

5.4.3.1 Relación entre espesores.

La relación corriente entre espesores nominales del lote y espesor medio del lote, están indicados en la siguiente tabla.

Espesor nominal prescribible en designación µm	Espesor local mínimo ¹⁾ µm	Espesor medio del lote ²⁾	
		Mínimo µm	Máximo µm
3	3	3	5
5	5	4	6
8	8	7	10
10	10	9	12
12	12	11	15
15	15	14	18
20	20	18	23

¹⁾ Medido sobre la superficie de medición con método magnético o equivalente.

²⁾ Medido con método gravimétrico.

Se pueden suministrar espesores nominales de revestimiento superiores al prescrito, que no vengán especificados en el pedido, siempre que no impidan la verificación con el calibre de control.

5.4.3.2 Espesor del revestimiento para el tornillo.

En la tabla siguiente vienen indicados los valores de espesor de revestimiento para cada paso y relativos a la holgura fundamental, correspondientes a las posiciones de tolerancia **6g**, **6f**, y **6e**; los espesores máximos admitidos y los espesores nominales máximos prescribibles medidos sobre superficies significativas.

Teniendo en cuenta lo dicho en el apartado 5.2.3, y sabiendo que el aporte de depósito es favorecido en el extremo del tornillo, y que la diferencia de espesor entre la extremidad de la pieza y la parte central es influenciada por la longitud del tornillo; en la columna correspondiente a cada una de las posiciones de tolerancia y para diversas relaciones longitud/diámetro, vienen los valores correspondientes a los espesores nominales máximos prescribibles, y los espesores mínimos predecibles a mitad de longitud nominal de la rosca al variar la relación longitud/diámetro. Tales espesores son a título indicativo. (Ver tabla página siguiente)

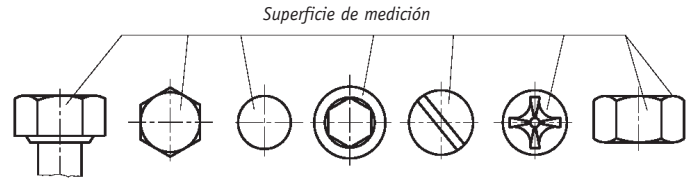
5.4.3.3 Espesor del revestimiento para la tuerca.

Si se prescriben espesores de revestimiento menores o iguales a 12µm. se puede adoptar, de manera indistinta, la posición de tolerancia **H** o **G**.

En el caso de que se prescriban espesores superiores a 12µm., se recomienda adoptar la posición de tolerancia **G**.

Conviene recordar que el aporte electrolítico de materia sobre la rosca de una tuerca es menor.

5.4.3.4 Superficies de medición de los espesores de revestimiento.



El espesor local medido no debe ser inferior al valor del espesor nominal indicado en la prescripción.

El espesor del revestimiento en la rosca deberá ser de una magnitud que permita el roscado con un calibre de anillo para roscas PASA (AP) **6h** para los tornillos, y con un calibre tampón roscado PASA (TP) **6H** para las tuercas; con un par de apriete, expresado en N m, no mayor de 0.001 d³, donde d es el diámetro nominal en milímetros de la rosca.

5.4.4 Tolerancias de roscado.

La base del espesor de los revestimientos electrolíticos viene dada por las tolerancias de la rosca métrica (ISO) de acuerdo con DIN -13 y para roscas en pulgadas (ISO) de acuerdo con ISO 5864 (ANSI B 1.1); siempre ANTES del revestimiento, lo que significa la tolerancia **g** o **2A** para los bulones y tornillos, y **H** o **2B** para las tuercas.

El revestimiento no debe en ningún caso sobrepasar el valor del roscado (línea cero) Así pues, los pernos y los tornillos permitir la entrada del "anillo-pasa" con la tolerancia **h** o **3A**. Las tuercas pueden tener un espesor medible con la condición que la tolerancia **H** o **2B** no sea utilizada completamente hasta la línea cero.

5.4.5 Fragilización por el hidrógeno.

Debido a la fragilización provocada por el hidrógeno, los pernos y los tornillos con una resistencia a la tracción Rm ≥ 1000 N/mm² o una dureza ≥ 300 HV (F ≥ 98N.), deben ser desgasados a 200° C ± 10°C a partir de unas 4 horas después del revestimiento electrolítico.

Este tratamiento es también obligatorio para las piezas y accesorios elásticos con una dureza ≥ 400 HV (F ≥ 98N.).

A pesar de esta precaución el riesgo de rotura no puede ser eliminado totalmente con los métodos electrolíticos usados actualmente. Así pues, se desaconseja usar revestimientos electrolíticos para pernos y tornillos de calidad ≥ 12.9.

5.4.6 Pasivado por cromatación.

La formación de una capa de conversión al cromo debe ser efectuada de acuerdo con la norma DIN - 50941, y después del tratamiento de desgasado. Los procesos de cromatación aumentan considerablemente la protección contra la corrosión.

De entre todos los colores, desde el azulado (transparente) hasta negro, un pasivado de color amarillo será el preferente.

5.4 REVESTIMIENTOS ELECTROLÍTICOS
Espesor del revestimiento para tornillo

Paso P		mm.	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7 0,75	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4
Posición de tolerancia g	Holgura fundamental	μm	-19	-19	-20	-20	-21	-22	-24	-26	-28	-32	-34	-38	-42	-48	-53	-60
	Espesor máximo admitido	μm	5	5	5	5	5	6	6	6	7	8	9	10	11	12	13	15
	Espesor nominal máximo prescribible	μm	3			5			8			10			12			
	4d < l ≤ 6d	μm	2			3			5			6			7			
	6d < l ≤ 10d	μm	1			2			4			4			5			
	10d < l ≤ 16d	μm	1			2			3			3			4			
Posición de tolerancia f	Holgura fundamental	μm	-34	-34	-35	-36	-36	-38	-38	-40	-42	-45	-48	-52	-58	-63	-70	-75
	Espesor máximo admitido	μm	9	9	9	9	9	10	10	10	11	11	12	13	14	16	18	19
	Espesor nominal máximo prescribible	μm	8			10			12			15						
	4d < l ≤ 6d	μm	5			6			7			9						
	6d < l ≤ 10d	μm	4			4			5			7						
	10d < l ≤ 16d	μm	3			3			4			5						
Posición de tolerancia e	Holgura fundamental	μm	-	-48	-48	-50	-53	-56	-60	-60	-63	-67	-71	-71	-80	-85	-90	-95
	Espesor máximo admitido	μm	-	12	12	13	13	14	15	15	16	17	18	18	20	21	23	24
	Espesor nominal máximo prescribible	μm	-	10		12			15			20						
	4d < l ≤ 6d	μm	-	6		7			9			12						
	6d < l ≤ 10d	μm	-	4		5			7			9						
	10d < l ≤ 16d	μm	-	3		4			5			6						

5.5 REVESTIMIENTOS EN CALIENTE. GALVANIZACIÓN

5.5.1 Objeto y alcance.

Los revestimientos en caliente son procedimientos destinados principalmente a elementos roscados, pernos tornillos y tuercas, de rosca M 6 hasta M 36 inclusive y de paso grueso, de clases de calidad hasta 10.9 para pernos y tornillos, y clase de calidad 10 para tuercas.

El espesor mínimo de revestimiento se aplica también a otros elementos tales, como las arandelas.

5.5.2 Galvanización en caliente.

La galvanización en caliente es definida como una capa de Zinc de protección contra la corrosión, depositada sobre la superficie de los elementos de metal, por inmersión de los mismos en un baño de Zinc en estado de fusión.

Esta información sobre la galvanización en caliente se refiere a la norma DIN - 267 parte 10.

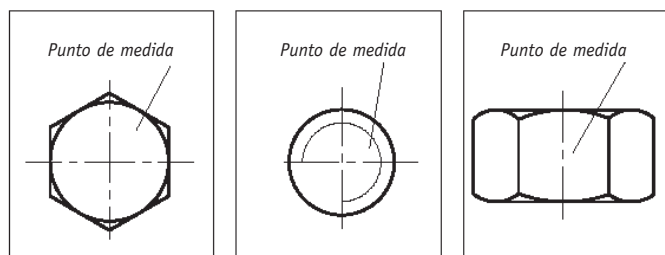
5.5.3 Sistema de designación.

Los elementos de fijación galvanizados en caliente son designados con t Zn; por ejemplo: pernos de alta resistencia HR DIN 6914 - M20 x 100 - t Zn.

5.5.4 Espesor, puntos y métodos de medición.

El espesor mínimo en el punto de medición será de 40 μ m.

El punto de medida es un punto específico, representativo, de una manera significativa, de la resistencia funcional a la corrosión tal como se indica en los dibujos.



El espesor de revestimiento puede ser medido por:

- la determinación directa de acuerdo con DIN 50933.
- el método magnético de acuerdo con DIN50981.

Para comparar el espesor con la masa de la unidad de superficie se puede utilizar 100 μ m y 700gr/m².

Las tuercas son repasadas de rosca después de la galvanización en caliente.

El mecanizado de las roscas en pernos y tornillos, después de la galvanización, no está permitido.

5.5.5 Tolerancias de roscado.

Las tolerancias de roscado métrico ISO de acuerdo con DIN-13, y en pulgadas de acuerdo con ISO 5864 ANSI B1.1, para los elementos de fijación corrientes no son suficientes para depositar un revestimiento con el espesor mínimo especificado.

Para asegurar una unión sin interferencias de los filetes de las roscas, después de la galvanización en caliente, uno de los métodos siguientes puede ser seleccionado:

- Los pernos y los tornillos normales son galvanizados obteniendo un rosca "sobremedida". Estos pernos y tornillos deben ser combinados con tuercas que hayan sido roscadas con "sobremedida" alrededor de 0,3mm más grandes después de la galvanización. No están de acuerdo con la calidad media 6H/6g de la rosca usual. Estos pernos tornillos y tuercas deben ser

utilizados formando conjunto. Este método es el más utilizado, siendo recomendado.

- Los pernos y los tornillos son fabricados según una holgura de tolerancia "a" de acuerdo con DIN - 13 Parte15, antes de la galvanización.

Estos pernos y tornillos deben ser fabricados a "bajo medida".

Puesto que el perfil de la rosca no debe, en ningún caso, sobrepasar la línea de cero, esto significa que los pernos y los tornillos deben admitir el calibre de anillo PASA con la tolerancia "h" después de la galvanización. Los pernos y los tornillos galvanizados en caliente, de rosca métrica ISO, deben de combinarse con tuercas que han sido roscadas normalmente después de de la galvanización t admiten el calibre también PASA con una tolerancia "H" .

Este método está de acuerdo con la calidad media del roscado normal, y puede ser utilizado con tuercas o en agujeros roscados con la rosca métrica normal ISO.

5.5.6 Fragilización por hidrógeno.

La galvanización en caliente no produce fragilización por hidrógeno.

Las operaciones previas, como el decapado, deben ser realizadas de una manera profesional, ya que, un tratamiento hecho a la ligera podría causar fragilización por el hidrógeno.

5.5.7 Acabado.

Si para las uniones de alta resistencia se pide una mejor relación entre el par de apriete y la precarga, será necesario suministrar los pernos, tornillos y las tuercas con un lubricante adecuado, como por ejemplo el bisulfuro de molibdeno MoS₂ .

5.5.8 Color.

El color del revestimiento de Zinc puede variar de brillante a un gris dependiendo del tratamiento dado. Sin embargo, el color no es una indicación de la calidad de protección contra la corrosión y no puede ser usado como criterio de comprobación, aunque se debe de conseguir una apariencia lo mas blanca y brillante posible.

5.5.9 Capacidad de carga.

Generalmente se puede decir que las características mecánicas de los pernos y tornillos de acuerdo con DIN ISO 898/1y de las tuercas de acuerdo con ISO 898/2 o DIN 267 Parte 4 no son influenciadas por una galvanización en caliente. Sin embargo debido a una reducción de la sección de soporte del roscado de los bulones y tuercas, la capacidad de carga de la combinación perno / tuerca se ve reducida alrededor de un 5% para el diámetro más grande y aumenta gradualmente hasta un 20% para el diámetro más pequeño M6. Para valores específicos ver DIN 267 Parte 10.

A causa de las desviaciones fundamentales de las tolerancias, está permitido que la rosca del perno y el tornillo pueda ser arrancada a la mínima resistencia a la tracción.

5.5.10 Protección contra la corrosión.

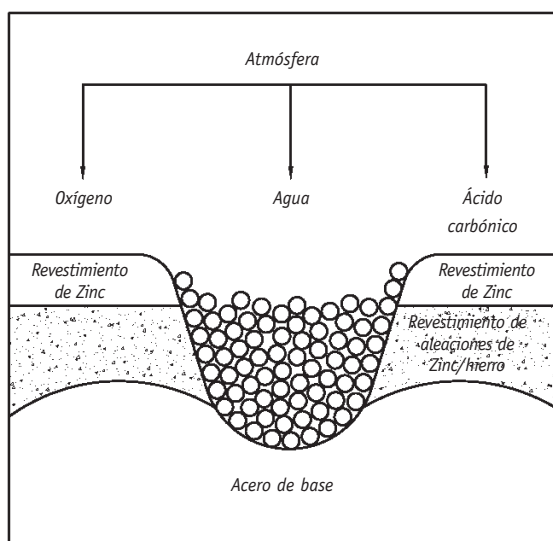
Debido a que el Zinc es un metal más noble que el hierro (acero), El Zinc se corroera el primero, protegiendo así el acero contra el óxido, hasta que todo el Zinc quede disuelto.

Además, en los puntos donde el revestimiento de Zinc tenga agujeros a una distancia de 1,5mm. a 2mm. o una superficie de 10mm². el acero queda protegido por un proceso electroquímico denominado protección catódica . El Zinc se sacrifica por el acero y el punto sin protecciones cubierto por las sales de Zinc creadas.

Un buen ejemplo de este fenómeno se presenta en la rosca de las tuercas galvanizadas en caliente, que son roscadas después de la galvanización. El revestimiento de la rosca del tornillo toma el relevo de la protección de la rosca, no completamente revestida, de la tuerca.

Otro aspecto importante de la protección catódica es la ausencia de óxido sobre el revestimiento, y la formación de éste solo se limita a las partes no recubiertas

5.5 REVESTIMIENTOS EN CALIENTE. GALVANIZACIÓN



5.5.10.1 Corrosión atmosférica.

Durante el ataque atmosférico se construye una capa de productos de corrosión "pátina de zinc", principalmente constituida por carbonato de zinc, casi insoluble y que ralentiza la corrosión aun más.

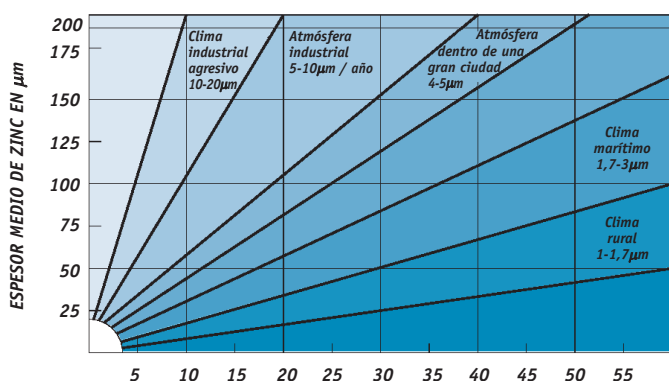
Si el acero galvanizado en caliente permanece húmedo mucho tiempo y si la circulación del aire es insuficiente, se puede desarrollar un óxido blanco y voluminoso llamado "óxido blanco", producto de la corrosión del zinc, siendo menos deseable por la estética y la pintura.

La formación del óxido blanco puede ser suprimida por un estocaje y embalaje de los productos de una manera adecuada o si es necesario por la pasivación por ácido de cromo o lubricación aceitosa.

El tiempo de duración de la protección es directamente proporcional al espesor del revestimiento y depende de las circunstancias climatológicas, como se muestra en el gráfico adjunto.

Generalmente la duración de la protección esta definida como el tiempo de exposición hasta que la superficie de acero no muestra un 5% de óxido.

Influencia del clima sobre la duración de la protección del acero galvanizado en caliente.



DURACIÓN DE PROTECCIÓN EN AÑOS HASTA APROXIMADAMENTE UN 5% DE ÓXIDO

5.5.10.2 Corrosión por contacto.

Este tipo de corrosión se presenta cuando dos materiales metálicos hacen contacto conductivo en presencia de un electrolito corrosivo. La razón es la diferencia de potencial electroquímico de los metales en cuestión: el metal menos noble se disuelve. Este proceso también depende de las superficies relativas en contacto de los metales.

La tabla adjunta muestra un resumen práctico de la validez de la combinación de elementos de fijación galvanizados en caliente, donde la superficie es más pequeña (segunda columna), y donde la superficie es más grande (tercera columna), respecto a la superficie del material antagonista.

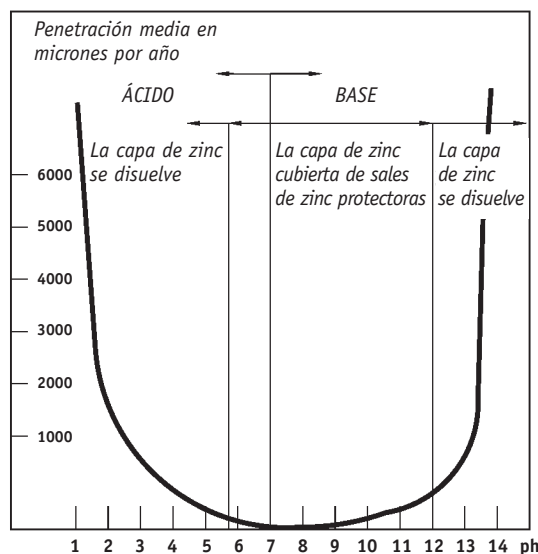
Por ejemplo: el montaje de tornillos galvanizados en caliente en una construcción muy ancha en acero inoxidable, no será un montaje seguro en el tiempo.

Acero galvanizado en caliente en contacto con	Validez de la combinación	
	superficie de zinc más pequeña que la superficie del metal en contacto	superficie de zinc más grande que la superficie del material en contacto
aleaciones de magnesio	buena	limitada
acero galvanizado en caliente	buena	buena
aleaciones de aluminio	limitada	buena
cadmio	mala	limitada
acero no aleado	limitada	limitada/mala*
acero colado	limitada	limitada/mala*
acero aleado	limitada	limitada/mala*
acero inoxidable	mala	buena
plomo	limitada	buena
estaño	limitada	buena
cobre	mala	mala
aleaciones de níquel	mala	buena

La velocidad de corrosión del acero no revestido en contacto con el zinc es pequeña. Sin embargo una pequeña cantidad de agua de óxido la acelerara rápidamente y causará las manchas de óxido, las cuales no son aceptables desde un punto de vista estético. Es por esto que esta combinación es rechazada casi siempre.

5.5.10.3 Corrosión química.

El zinc no es resistente a los ácidos concentrados ni a las bases concentradas (productos caústicos). De una manera general, el zinc no debe ser expuesto a soluciones con un valor de pH inferior a 6 y más alto que 12,5. La aplicación más favorable se sitúa entre pH 8 y pH 11.



5.5.10.4 Sistema Duplex.

El sistema Duplex es una combinación de galvanización en caliente y pintura. Este sistema puede ofrecer una buena solución contra una atmósfera muy agresiva, como por ejemplo: al lado del mar, o en un medio ácido, o donde un mantenimiento adecuado se hace más que imposible, o en el caso de desear un acabado con un color especial. La duración de la protección es de 1 1/2 a 2 1/2 veces más larga que la suma de los dos sistemas separados.

5.5 REVESTIMIENTOS EN CALIENTE. GALVANIZACIÓN
Resistencia del acero galvanizado en caliente contra los productos químicos

Productos químicos	Resistencia	Consideraciones
cemento mojado	buena	bajo ataque, muy bueno en condiciones secas
agua de yeso	bastante buena	no es resistente al tiempo
agua de bisulfito	poca	-
soluciones fosfóricas	buena	baja reacción neutra
extracciones acuosas de roble y haya	moderada-poca	bajo ataque permanente
amoniaco	poca	bajo ataque permanente
agua salada	buena	-
soluciones de cloruro de calcio	buena	-
soluciones de jabón	buena	-
detergentes en solución	poca-buena	depende de la composición
productos pesticidas	buena	salvo fenoles libres
esencias	buena	-
mazut	moderada	sobretudo en presencia de ácidos naftenos, de agua y/o de compuestos sulfurosos

Productos químicos	Resistencia	Consideraciones
benceno/tolueno/xileno	buena	sin agua
naftas solventes y pesadas	buena	sin agua
metanol y etanol	poca	bajo ataque permanente
glicerina	buena	sin agua
hidrocarburos clorados	buena	sin agua
éters/sales orgánicas	bastante buena-buena	sin agua sin reacción como ácido concentrado
sustitutos de fenoles	buena	sin agua
compuestos amino	buena	sin agua
glucosas líquidas	buena	-
sulfonatos	buena	-
soluciones de gomas-resina	buena	-
productos de cuero, bitumes	buena	sin ácido

5.6 OTROS REVESTIMIENTOS
DACROMET®

El DACROMET® es un revestimiento inorgánico compuesto de laminillas de zinc y de aluminio dentro de una matriz mineral a base de óxidos de cromo. Las prestaciones anticorrosión del DACROMET® son particularmente altas con bajo espesor (de 5 a 10 µm). El DACROMET® es la referencia tecnológica en el campo de piezas de fijación roscadas para el sector de automoción.

GEOMET®

El GEOMET es un revestimiento sin cromo, con base acuosa e inorgánica, fue desarrollado para responder a las exigencias reglamentarias más recientes como es el caso de la Directiva Europea 2000/53 sobre el reciclaje de los vehículos en fin de vida útil.

Igual que para el DACROMET®, las prestaciones anticorrosión y de lubricación del GEOMET® son particularmente altas.

Prestaciones de los diferentes tipos de revestimientos

	Color	Nº de capas	Espesor	Coefficiente de rozamiento	Ensayo niebla salina ISO 9227
DACROMET 500	Gris aluminio	2 / 3	Grado A de 5 a 7 µm. Grado B de 8 a 10 µm.	0,08 a 0,12	Grado A + de 600 horas sin óxido rojo. Grado B + de 1000 horas sin óxido rojo.
DACROMET 320	Gris aluminio	2 / 3	Grado A de 5 a 7 µm. Grado B de 8 a 10 µm.	0,12 a 0,18	Grado A + de 600 horas sin óxido rojo. Grado B + de 1000 horas sin óxido rojo.
DACROBLAC 15	Negro	1 + 1 + 1	12 µm.	0,08 a 0,14	+ de 1000 horas sin óxido rojo.
GEOBLACK	Negro	1 + 1	de 10 a 12 µm.	0,10 a 0,16	+ de 1000 horas sin óxido rojo. + de 1000 horas sin óxido rojo.
GEOMET D / 360	Gris aluminio	1	de 3 a 15 µm.		+ de 240 horas para un espesor de 8 mm.
GEOMET 500	Gris aluminio	2	Grado A de 5 a 8 µm. Grado B de 8 a 10 µm.	0,08 a 0,12 adición de PTFE.	Grado A + de 600 horas sin óxido rojo. Grado B + de 1000 horas sin óxido rojo.
GEOMET 321	Gris aluminio	2	Grado A de 5 a 8 µm. Grado B de 8 a 10 µm.		Grado A + de 600 horas sin óxido rojo. Grado B + de 1000 horas sin óxido rojo.