



UNIVERSIDAD DE OVIEDO



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

GRADO EN INGENIERÍA DE LAS TECNOLOGÍAS MINERAS

**DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS
ÁREA DE PROSPECCIÓN E INVESTIGACIÓN MINERA**

TRABAJO FIN DE GRADO

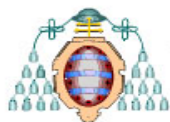
ESTUDIO DEL PROCESO DE CROMADO DE PIEZAS

Autor: ARMANDO MONTES PÉREZ

Tutor: PABLO CIENFUEGOS SUAREZ

Cotutor: EFREN GARCIA ORDIALES

Julio, 2024



UNIVERSIDAD DE OVIEDO



Declaración de Originalidad del Trabajo Fin de Grado

D./Dña. ARMANDO MONTES PEREZ, con DNI 71733262B estudiante del Grado en Ingeniería de las Tecnologías Mineras de la Escuela Politécnica de Mieres de la Universidad de Oviedo, declaro bajo mi responsabilidad que:

El Trabajo de Fin de Grado aquí presentado con título ESTUDIO DE PROCESOS DE CROMADO DE PIEZAS ha sido realizado bajo mi autoría, es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente declaración.

En Mieres, a [7] de [JULIO] de 2024.

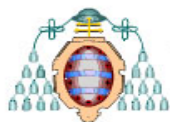
ARMANDO MONTES PEREZ

71733262B



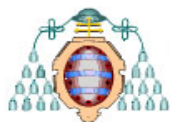
UNIVERSIDAD DE OVIEDO



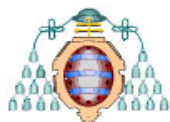


ÍNDICE DE MATERIAS

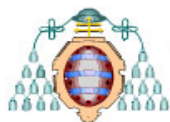
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	2
3. EL CROMO ELECTROLÍTICO	3
3.1. Propiedades Físicas.....	3
3.1.1. Brillo	4
3.1.2. Resistencia al desgaste.....	5
3.1.3. Resistencia al rayado	8
3.1.4. Dureza.....	8
3.1.5. Resistencia a la corrosión	11
3.1.6. Coeficiente de rozamiento	15
4. INSTALACIONES DE UNA PLANTA DE CROMADO DURO	17
4.1. Depósitos requeridos	19
4.1.1. Cubas	19
4.1.2. Cubas de enjuague	20
4.1.3. Dispositivo de agitación	21
4.2. Sistemas de regulación de temperatura	21
4.2.1. Calefacción	21
4.2.2. Refrigeración	22
4.2.3. Control de temperatura	23
4.3. Instalación de un equipo de aspiración	24
4.3.1. Cálculo de la capacidad de aspiración	25
4.4. Instalación eléctrica	26
4.4.1. Corriente eléctrica.....	27
4.4.2. Fuente y regulación del potencial eléctrico	27
4.4.3. Armadura de conducción.....	28
4.5. Ánodos	29
4.6. Depuradora de aguas crómicas	30
4.6.1. Proceso de depuración	32
5. FISIONOMÍA DEL REVESTIMIENTO BRUTO DEL DEPÓSITO	34
5.1. Perfil general y local del revestimiento	34



5.2.	Influencia de la forma geométrica de la superficie.....	35
5.3.	Influencia del estado y contextura superficial del revestimiento	38
6.	PRÁCTICA DEL CROMADO DURO.....	41
6.1.	Metales que pueden ser cromados.....	41
6.1.1.	Cambios de propiedades en aceros cromados	42
6.2.	Consideraciones previas al cromado.....	44
6.2.1.	Dureza de la superficie a tratar	45
6.2.2.	Acabado de las superficies antes del cromado	45
6.2.3.	Preparación química	48
6.2.4.	Ataque anódico	51
6.3.	Organización de las piezas durante el cromado	52
6.4.	Protección de superficies.....	53
6.5.	Baño de cromo	55
6.5.1.	Mantenimiento.....	60
6.5.2.	Mecanismo de electrodisposición del cromo hexavalente	64
6.5.3.	Cromo trivalente	66
6.5.4.	Impurezas.....	67
6.5.5.	Descromado	69
6.6.	Cromado duro.....	69
6.6.1.	Corriente y temperatura	69
6.6.2.	Velocidad de deposición	74
6.6.3.	Desgaseado	76
6.7.	Anomalías en el recubrimiento de cromo	76
6.7.1.	Irregularidades en el baño.....	77
6.7.2.	Irregularidades en la película de cromo.....	78
7.	TRABAJOS EN EL TALLER DESPUÉS DEL CROMADO	80
7.1.	Piezas cuyo revestimiento tiene que rectificarse	80
7.1.1.	Rectificado del revestimiento de cromo	81
7.1.2.	Pulido y bruñido del cromo rectificado	83
7.1.3.	Tallado de aristas	84
7.1.4.	Eliminación de granulaciones.....	84
7.2.	Piezas cuyo revestimiento no tiene que rectificarse.....	85
7.2.1.	Retoques locales	85

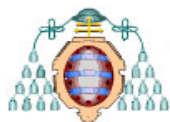


7.2.2.	Rasqueteado de proliferaciones	86
7.2.3.	Pulido o bruñido del revestimiento.....	86
8.	COSTO DEL CROMADO DURO.....	87
8.1.	El cromo metal.....	87
8.2.	Corriente eléctrica	88
8.3.	Mano de obra	89
8.4.	Materiales accesorios.....	90
8.4.1.	Materiales especiales	90
8.5.	Resumen	90
9.	GESTIÓN DE PROTECCIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	92
9.1.	Residuos generados en el proceso de cromado duro	92
9.2.	Logística interna de recogida de residuos	94
9.3.	Control medioambiental	95
9.3.1.	Emisiones a la atmósfera	95
9.3.2.	Vertido de aguas residuales.....	96
9.3.3.	Legislación aplicable en plantas de cromado duro	97
10.	CONCLUSIONES	98
11.	BIBLIOGRAFÍA	99



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Físicas del Cromo depositado electrolíticamente [2].	3
Tabla 2. Resultados comparativos de pérdidas de peso por rozamiento de superficies cromadas y sin cromar [2].	5
Tabla 3. Resultados comparativos de las pérdidas de peso por rozamiento de superficies cromadas y sin cromar [2].	6
Tabla 4. Dureza Brinell del cromo en función del espesor aplicado en acero blando [1].	9
Tabla 5. Tensiones electrolíticas de metales [2].	11
Tabla 6. Resistencia de las películas de cromo a la corrosión (National Research Council) [2].	12
Tabla 7. Coeficientes de rozamiento [2].	16
Tabla 8. Cálculo de la sección útil en diferentes cubas que requiere de aspiración.	26
Tabla 9. Solución para la limpieza de ánodos.	29
Tabla 10. Resistencia a la flexión de los aceros cromados (según Gebauer) [2].	44
Tabla 11. Durezas recomendadas para diferentes tipos de acero [2].	45
Tabla 12. Comparación de rugosidades y sus diferentes aplicaciones [6].	46
Tabla 13. Fórmula para el desengrase de aceros [2].	49
Tabla 14. Riqueza óptima del óxido de cromo [2].	56
Tabla 15. Concentración y densidad de las soluciones más corrientes en el cromado duro (Referida a 20°C) [2].	57
Tabla 16. Velocidad de deposición del cromo electrolítico en un baño de composición 250 g/l y 2,5 g/l de CrO_3 y H_2SO_4 (E. L. Combs) [2].	75
Tabla 17. Cantidad aproximada de cromo depositado por dm^2 para 0,03 mm de espesor [2].	88
Tabla 18. Potencia eléctrica consumida durante el cromado [2].	88
Tabla 19. Factores que influyen en el costo del cromado duro [2].	90
Tabla 20. Residuos generados no peligrosos.	93
Tabla 21. Residuos generados peligrosos.	93
Tabla 22. Legislación aplicable en plantas de cromado duro.	97



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación del desgaste de una superficie cromada con otra sin cromar [2].	7
Figura 2. Mediciones de diámetros con diferentes espesores de cromo sobre cilindro de acero [2].	10
Figura 3. Curvatura de la dureza medida en espesores hasta 1 mm bajo 10 kg de presión [2].	10
Figura 4. Diseño esquemático de una instalación de cromado duro [2].	18
Figura 5. Diseño esquemático de una depuradora de aguas crómicas.	31
Figura 6. Fenómeno general de la curvatura del cromo [1].	34
Figura 8. Cromado en arista obtusa [1].	35
Figura 7. Cromado en arista de escuadra redondeada [1].	35
Figura 10. Cromado en ángulo entrante II [1].	36
Figura 9. Cromado en ángulo entrante I [1].	36
Figura 12. Cromado en ángulo entrante acusado II [1].	36
Figura 11. Cromado en ángulo entrante acusado I [1].	36
Figura 13. Cromado en cavidad profunda [1].	36
Figura 14. Abombamiento irregular en las secciones de una pieza [1].	37
Figura 15. Espesores de cromo (mm) sobre abombamiento [1].	37
Figura 17. Cromado sobre límite de depósito [1].	38
Figura 16. Cromado sobre arista viva [1].	38
Figura 18. Cromado sobre cuerpo extraño I [1].	39
Figura 19. Cromado sobre cuerpo extraño II [1].	39
Figura 20. Cromado sobre fisura en la superficie [1].	39
Figura 21. Comparación del cromado normal (1), con el cromado de formación nodular (2), [1].	40
Figura 22. Sujeción rígida de una pieza para su cromado [2].	53
Figura 23. Influencia de la concentración de ácido crómico del baño, sobre la penetración relativa [2].	58
Figura 24. Rendimiento catódico del baño de cromo duro en función de la concentración de CrO_3 [2].	58
Figura 25. Poder de penetración en función de la concentración de SO_4 y de la temperatura [2].	59
Figura 26. Influencia de la concentración de CrO_3 sobre la dureza de la película depositada [2].	61
Figura 27. Relación densidad y concentración de ácido crómico [2].	62
Figura 28. Influencia del contenido en hierro sobre la dureza de la película [2].	68
Figura 29. Influencia de la temperatura y de la densidad de corriente sobre las características y aspecto de la película de cromo (Gebauer) [2].	70
Figura 30. Relación entre las temperaturas y densidades de corriente necesarias para trabajar dentro de la zona de brillo (Bilfinger) [2].	72

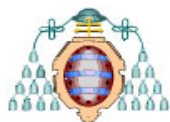
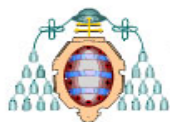


Figura 31. Dureza y aspecto del cromado duro obtenido a distintas densidades de corriente y temperaturas (W.Eilender, H.Arend, E. Schmidtman) [2].	73
Figura 32. Velocidad de deposición del cromo [2].	74
Figura 33. Rectificado de una pieza bajo un falso eje [1].	81



1. INTRODUCCIÓN

Desde hace años se ha intentado aprovechar las increíbles características del cromo resultante del depósito electrolítico, con el fin producir aumentos y mejoras de rendimiento a nivel industrial, consta que, desde 1923, en adelante, numerosos promotores de este proceso han publicado numerosos estudios que avalan las increíbles ventajas del cromado duro, como pueden ser el ingeniero doctor alemán E.Mahle, P. Romanoff, la institución *Bureau of Engraving and Printing*, de los Estados Unidos, Eaton, etc. [2]

Pero fue a partir del año 1940 cuando el cromado duro se instauró como uno de los procedimientos más modernos en el campo de la electrodisposición, que fue dejando una huella reveladora debido a su importancia y trascendencia en el mundo del metal e industrial, dando como resultado a las primeras patentes españolas¹.

Desde que el cromado duro fue aplicado por primera vez en España, en 1941, y en la primera instalación existente, de la Industrial Electroquímica, Sociedad Limitada, de Barcelona, el mismo, como procedimiento industrial, durante el paso del tiempo, ha transcurrido por diversas alternativas. En las apariciones y divulgaciones de los primeros trabajos de cromo duro no se contaba todavía con la experiencia suficiente como para calibrar todos los factores que intervienen en su desarrollo, los cuales son de vital importancia, incluso se llegaron a realizar incontables aplicaciones disparatadas. Sin embargo, muchos acertaron en su aplicación, demostrando así las excelencias del procedimiento; pero muchos, como era de esperar, fracasaron en el intento, dando lugar a calificar tal etapa como época de depresión² [2].

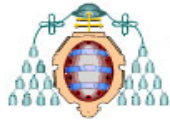
En el año 1946 se publicaron en la revista *Metalurgia y Electricidad*³, unos artículos que dieron lugar al punto de partida de un procedimiento en sus correctas proporciones. Fue a partir de esta época cuando numerosos ingenieros, técnicos e industriales encontraron de gran interés el cromo duro desde diferentes puntos de vista, sobre todo enfocado en la búsqueda de para poder mejorar las condiciones físicas, químicas o mecánicas de sus materiales, máquinas o aparatos.

Desde entonces, en España se ha dado paso a la creación de muchas instalaciones que trabajan en condiciones económicas de gran interés, especialmente las que se dedican al trabajo a partir de otras industrias, pues el cromado duro es uno de los procedimientos que más tienden a concentrar el trabajo de una zona, región o grupo de industrias en una serie muy reducida de instalaciones, aunque muy bien equipadas.

¹ Patentes números 155.587, 171.759, 170.380, propiedad del Instituto Electroquímico, S.A., de Barcelona [2]

² Debe hacerse constar que, en otros países más industrializados, ocurrió exactamente lo mismo.

³ Números 105, mayo de 1946; 107, julio de 1946, y 110, octubre de 1946 [2].



2. OBJETIVOS

Esta obra, está dedicada principalmente a los procesos y a la aplicación industrial del cromado duro depositado mediante vía electrolítica, en donde la utilización de estos revestimientos se da desde un punto de vista general y práctico.

Con este enfoque, se da en primer lugar cuales son las características y las propiedades fundamentales de este tipo de revestimiento, aspecto de este en su salida del baño, tanto en lo que refiere en su contextura interna como a su forma exterior y topografía superficial, en donde todo ello es influenciado por la configuración de la pieza dispuesta al cromado duro, estado superficial de las zonas a revestir, naturaleza del metal recubierto, y finalmente del espesor asignado al revestimiento final. Estos puntos también dependen de la preparación de la pieza en el taller, previo a su envío antes del cromado; y posteriormente de su acabado después del cromado; en donde el capital nunca dejará de tener influencia sobre el comportamiento del servicio de la mencionada pieza.

Por consiguiente, se darán las diferentes modalidades según las cuales debe procederse, en el taller, con vistas a la preparación de la pieza a cromar y finalmente su acabado para la puesta en servicio.



3. EL CROMO ELECTROLÍTICO

Las características y propiedades del cromo deben tratarse bajo dos puntos de vista, el primero muestra las ventajas prácticas y los beneficios derivados de su aplicación, y el segundo resalta las deficiencias, limitaciones de empleo, que incluso, en determinadas ocasiones, se puede llegar a desaconsejar su utilización.

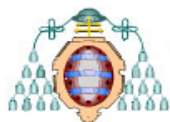
Asimismo, bajo estas dos cuestiones se debe saber que existen ligeras diferencias en cuanto al cromo metal y en cuanto a las características que derivan del procedimiento de revestimiento de dicho metal por vía electrolítica, siendo este último el principal enfocado en los siguientes puntos.

3.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 1, se da lugar a una serie de características que en su conjunto otorgan un gran valor a los recubrimientos de cromo duro, y por lo tanto serán puestas a estudio.

Tabla 1. Propiedades Físicas del Cromo depositado electrolíticamente [2].

Propiedades generales	
N.º atómico	24
Peso atómico	52,01
Densidad	7,14 g/cm ³
Punto de fusión	1900°C
Punto de ebullición	2200°C
Resistencia específica por cm	3,85 10 ⁶
Resistividad eléctrica	40 μΩ/cm
Resistencia al rayado (escala de Martens)	56-100
Coefficiente de dilatación lineal	0,8 mm p. m a 0°C
Poder de reflexión del cromo brillante	60-66 %
Conductividad térmica	0'165 cal/cm ² a 20°C
Estructura cristalina	Cubo centrado (arista 2,87Å)



Módulo de elasticidad (E)	15.000 kg/mm^2
Resistencia a la tracción (R)	15 kg/mm^2
Durezas	
Cromo duro brillante normal	800-1000 Brinell
Cromo en las partes quemadas, nódulos, etc	1100 Brinell
Cromado mate lechoso, por empleo de baja densidad de corriente	700 Brinell
Cromado mate o blando, por empleo de bajas temperaturas	575 Brinell
Dureza (escala de Mohs)	8,5
Dureza (unidades Vickers)	850-1150
Coefficiente de fricción estática	
Cromo sobre antifricción	0,15
Cromo sobre cromo	0,14
Cromo sobre acero	0,17

Teniendo en cuenta estos valores, a continuación, se da lugar a una serie de características que en su conjunto otorgan un gran valor a los recubrimientos de cromo duro, y por lo tanto serán puestas a estudio.

3.1.1. BRILLO

El cromo depositado electrolíticamente, en el intervalo de longitudes de onda correspondientes a la luz visible (4.000 a 7.000 Å), refleja la luz en una cuantía del 60 a 75 %. Los mismos valores, se obtienen para el intervalo correspondiente a la luz ultravioleta y algo más altos para el intervalo correspondiente a la luz infrarroja [5]. Estos valores, en combinación con el resto de las propiedades, hace que el cromo duro mantenga su brillo durante largos periodos de tiempo y en la mayor parte de ambientes naturales, excepto los extremadamente agresivos, dando lugar, así, a una de las aplicaciones industriales más comunes del mismo.



3.1.2. RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia al desgaste es, sin lugar a duda la propiedad más apreciada del cromo duro, sobrepasando por mucho a la mayoría de los aceros endurecidos elaborados con el mismo fin; al realizar una comparación entre estos dos, esta resistencia da lugar a resultados de 10 a 12 veces la de aceros de herramientas al cromo-níquel, y de 4 a 5 veces la del acero nitrurado [1].

A parte de la mecánica clásica, se da esta misma resistencia en momentos en los que el cromo tiene que hacer frente a ataques de sustancias no metálicas, como es el caso de los materiales abrasivos, donde, a su vez, también se opone a los efectos producidos por la erosión o cavitación de fluidos, líquidos o gases puestos a gran velocidad.

Desde hace años, todos los promotores del cromado duro realizaron y publicaron resultados de diferentes tipos de ensayos en los que se realizaron comparaciones entre los aceros normales cromados y los mejores aceros de la época, dando como resultado rendimientos muy superiores a los aceros con recubrimientos de cromo.

Como ejemplo de estos ensayos, se da a continuación el resultado de uno de los estudios que realizaron, el cual está basado en una comparación de desgaste de superficies, unas cromadas y otras, sin cromar, producido por una de las principales entidades de certificación a nivel mundial, Bureau Veritas.

Para estos ensayos se prepararon probetas de acero con 1,5% de carbono y 13% de cromo, aleación muy resistente utilizada corrientemente en la fabricación de hileras. Parte de dichas probetas fueron cromadas, posteriormente, el ensayo se llevó a cabo aplicando la siguiente técnica [2]:

Las probetas tenían una superficie plana de 6×4 cm y fueron sometidas al desgaste en una máquina del tipo “Dorry”, la cual trabajaba con una muela de eje vertical de 2.600 vueltas por hora. Las pérdidas de peso por las cuales se determinó el desgaste de la pieza se midieron, una primera vez, al completarse 1.000 vueltas y, una segunda vez, al completarse 4.000 vueltas.

Los resultados de comparación entre ambos son los siguientes:

Tabla 2. Resultados comparativos de pérdidas de peso por rozamiento de superficies cromadas y sin cromar [2].

Número de vueltas	Pérdida de peso en miligramos	
	Cromada	Sin cromar
1.000	7,4	78,0
4.000	3,2	6,8



Al mismo tiempo se realizó la comparación entre el desgaste de una probeta de acero cementado por los procedimientos clásicos de transformación química superficial y otra de la misma clase de acero, pero con un revestimiento de cromo [2].

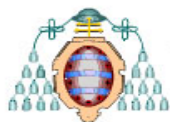
Ambas probetas disponían de las mismas dimensiones, 6×4 cm, y fueron sometidas a la misma máquina, a razón de 2.000 vueltas por hora, cada 1.000 de las cuales en el centro de la probeta correspondían a un recorrido total de 1.620 metros. El ensayo se dio por finalizado una vez realizadas 10.000 vueltas, y las diferencias de peso comparadas por cada 1.000 vueltas queda indicado:

Tabla 3. Resultados comparativos de las pérdidas de peso por rozamiento de superficies cromadas y sin cromar [2].

Acero cromado pérdidas de peso en miligramos		Número de vueltas	Acero cementado perdidas de peso en miligramos	
Cada 1.000 vueltas	Promedio por 1.000 vueltas		Cada 1.000 vueltas	Promedio por 1.000 vueltas
A	B		c	d
1,8	1,8	1.000	7,4	7,4
2,4	2,1	2.000	3,7	5,55
0,6	1,6	3.000	3,9	5,0
0,8	1,4	4.000	4,2	4,8
1,0	1,3	5.000	6,2	5,1
2,9	1,6	6.000	8,2	5,6
0,3	1,4	7.000	1,0	4,95
0,5	1,3	8.000	3,8	4,8
0,7	1,1	9.000	2,6	4,55
1,6	1,25	10.000	4,8	4,6

Estos ensayos, resumidos en el gráfico de la figura 1, permiten observar que se presentan dos trazas de curvas con diferencias bastante notables, pese la realización de los trabajos bajo las mismas condiciones.

Con esto se puede llegar a la conclusión que el material con cobertura de cromo obtuvo resistencias de 5 a 8 veces superior en comparación a los diferentes tipos de aceros.



Estos experimentos se confirman diariamente en todos aquellos casos en los que el procedimiento fue aplicado en correctas condiciones. Actualmente, para determinar la resistencia al desgaste del cromo duro, se emplean métodos y máquinas que otorgan la posibilidad de reproducir unas condiciones de trabajo muy similares a las que se verá sometida la pieza en cuestión.

Sin embargo, estos estudios comparativos, no son tan sencillos, ya que, en realidad, las películas de cromo están expuestas a infinidad de formas de desgaste durante sus aplicaciones prácticas, como puede ser por ejemplo los rozamientos en seco con calibres, aparatos de medida, bajas lubricaciones en las zonas de trabajo, ambientes muy ácidos y salinos, etc. Por lo que una aplicación errónea puede influir notablemente en el tiempo de vida de la película de cromo.

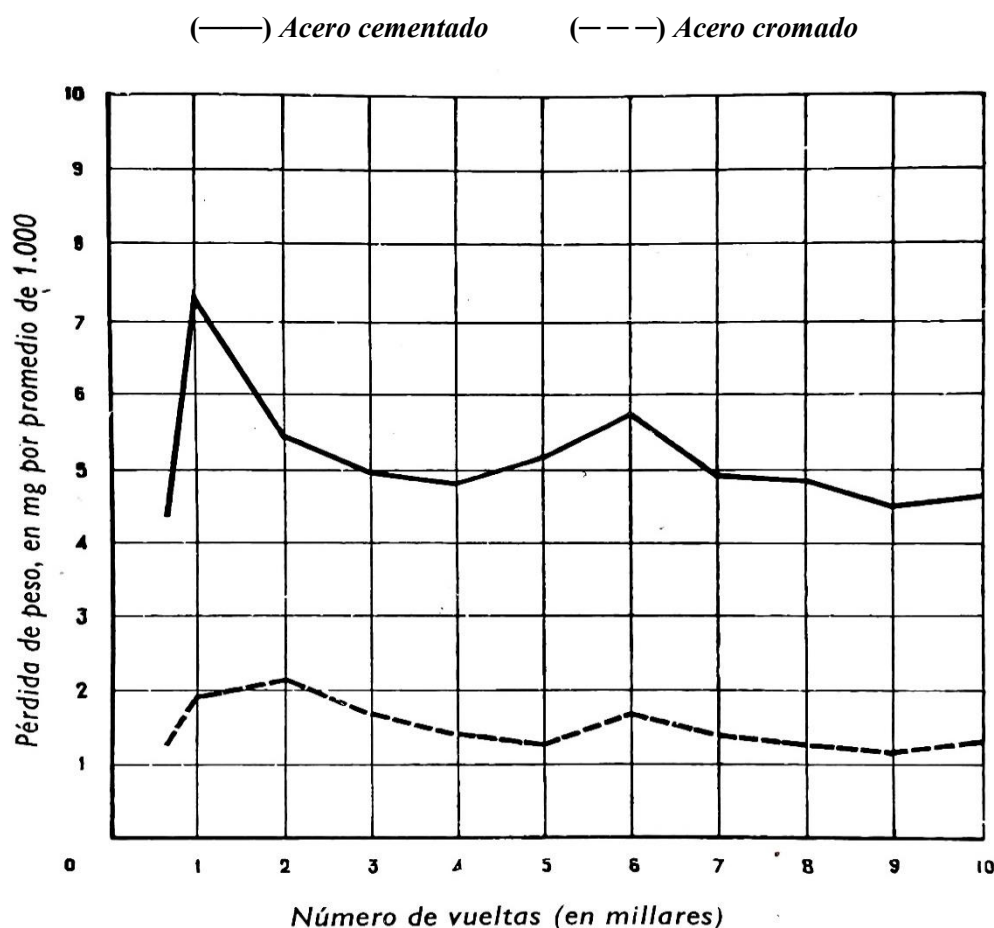
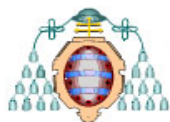


Figura 1. Comparación del desgaste de una superficie cromada con otra sin cromar [2].

Esta resistencia está influida principalmente por la relación entre la densidad de corriente y la temperatura de los baños, los valores más altos de resistencia al desgaste se han encontrado bajo tratamientos con densidades de corriente de 60 A/dm^2 y a temperaturas de 50°C . Sin embargo, en la práctica, se trabaja a de 25 a 50 A/dm^2 y a 50°C , ya que el



empleo de valores más altos produce ciertas dificultades, como bien se cita en apartados posteriores.

3.1.3. RESISTENCIA AL RAYADO

Son innumerables las aplicaciones del cromo duro basadas en su elevada resistencia al rayado, la cual aumenta el valor de protección del recubrimiento de cromo, producido por la mayor dificultad que opone a dejar al descubierto el metal base bajo las presiones causadas por cualquier canto vivo o arista que se desliza sobre la superficie con cromo.

El estudio de la resistencia de diferentes cuerpos expuestos al rayado se realiza, casi exclusivamente para los minerales, teniendo como escala más conocida la establecida por Mohs, la cual posee 10 unidades y comprende desde el talco hasta el diamante, el cromo se encuentra situado en un valor de 8,5 unidades.

La aplicación de sistemas más precisos para la comprobación de esta resistencia ha demostrado que este valor no está relacionado directamente con la dureza. Durante el paso de los años, existieron diferentes ejemplos de aparatos que nos permiten valorar esta propiedad, un ejemplo, el cual fue usado en numerosas prácticas durante años, es el “Diritest”, basado en la medición micrométrica de la raya producida por un diamante con punta afilada de 120° y bajo una presión determinada [2]. El valor por obtener corresponde a la presión en gramos que es necesaria para producir una raya equivalente a 0,01 mm. En el caso del cromo se tiene un valor de 60g, valor muy similar al del acero nitrurado que se encuentra en torno a los 60g [2].

3.1.4. DUREZA

Se entiende por dureza de un cuerpo a la resistencia que opone la penetración por otro cuerpo. Sin embargo, el estudio y comprobación de esta propiedad no es sencillo, y tiene muchas facetas que no pueden dejarse de lado, con el fin de evitar dar interpretaciones erróneas sobre la dureza que den lugar a consecuencias particularmente molestas.

Existen numerosas teorías que indican el origen de la dureza del cromo duro, al que en ocasiones se le puede calificar incluso de “anormal”. Se puede decir que las causas más importantes de la dureza del cromo depositado electrolíticamente son: el tamaño sumamente pequeño de la composición interna de los cristales y la increíble disposición que se obtienen durante la formación del depósito [2]. También influye de forma notable, la oclusión de átomos de hidrógeno en el interior del cristal cúbico de cromo [5], el cual se ve obligado a tomar una orientación favorable. Por último, la dureza, también es afectada por la inclusión de pequeñísimas partículas de óxido de cromo, que ejercen



acciones de taponamiento, impidiendo a su vez el desplazamiento cristalino, tales como en las aleaciones endurecidas por precipitación⁴.

En el caso contrario, se dan ciertos casos en los que la dureza de la película se verá afectada de forma negativa, como es el caso de altas temperaturas, en donde, a partir de los 200°C empieza a disminuir ligeramente, y puede alcanzar disminuciones de hasta el 50% y 70% en caso de alcanzar 600°C y 980°C respectivamente [2].

En los casos prácticos, el cromado duro presenta una dureza de unas 70 Rockwell C, que tienen una equivalencia de 750 Brinell y a 1.000 Vickers, aproximadamente.

En la Tabla 4 y las Figuras 2 y 3, queda ilustrado un experimento realizado sobre una pieza testigo cilíndrica, cuyo material pertenece a un acero de poca dureza, puesto que sólo dispone de 193 unidades Brinell. Para este ensayo la pieza se sometió a un recubrimiento de casi 1 mm de cromo (lo cual no es recomendable en casos prácticos) y posteriormente fue rectificada realizando una división de 13 zonas, de diferentes espesores, en forma de “escalones”. La primera zona se rectificó la capa de cromo en su totalidad, dejando así el material original al descubierto, mientras que, en las siguientes zonas, se dejó un espesor de cromo que aumenta de forma progresiva [1].

Tabla 4. Dureza Brinell del cromo en función del espesor aplicado en acero blando [1].

Zona	Espesor del depósito	Dureza Brinell
1	Nada	193
2	0,02	240
3	0,03	285
4	0,04	292
5	0,05	335
6	0,06	355
7	0,11	555
8	0,21	750
9	0,31	755
10	0,41	760
11	0,51	745
12	0,61	755
13	0,81	753

⁴ Proceso de tratamiento térmico empleado para aumentar el límite elástico de diferentes aleaciones, de algunos aceros y de aceros inoxidable.

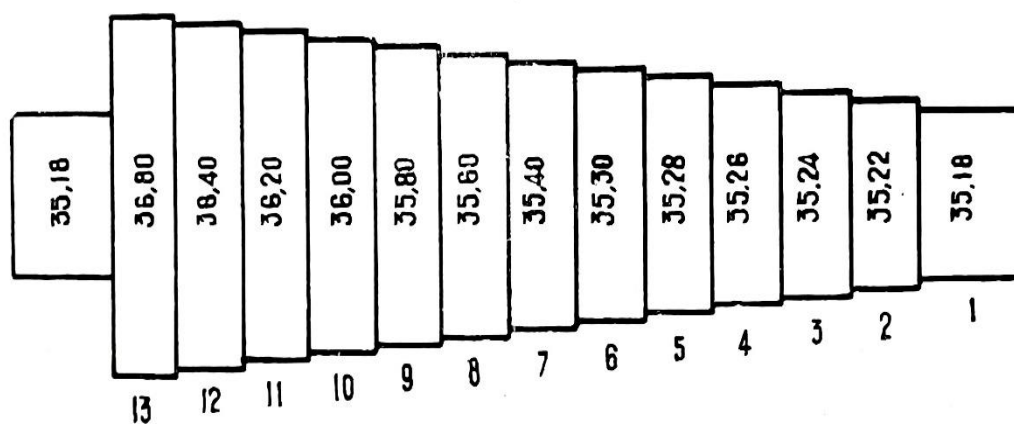


Figura 2. Mediciones de diámetros con diferentes espesores de cromo sobre cilindro de acero [2].

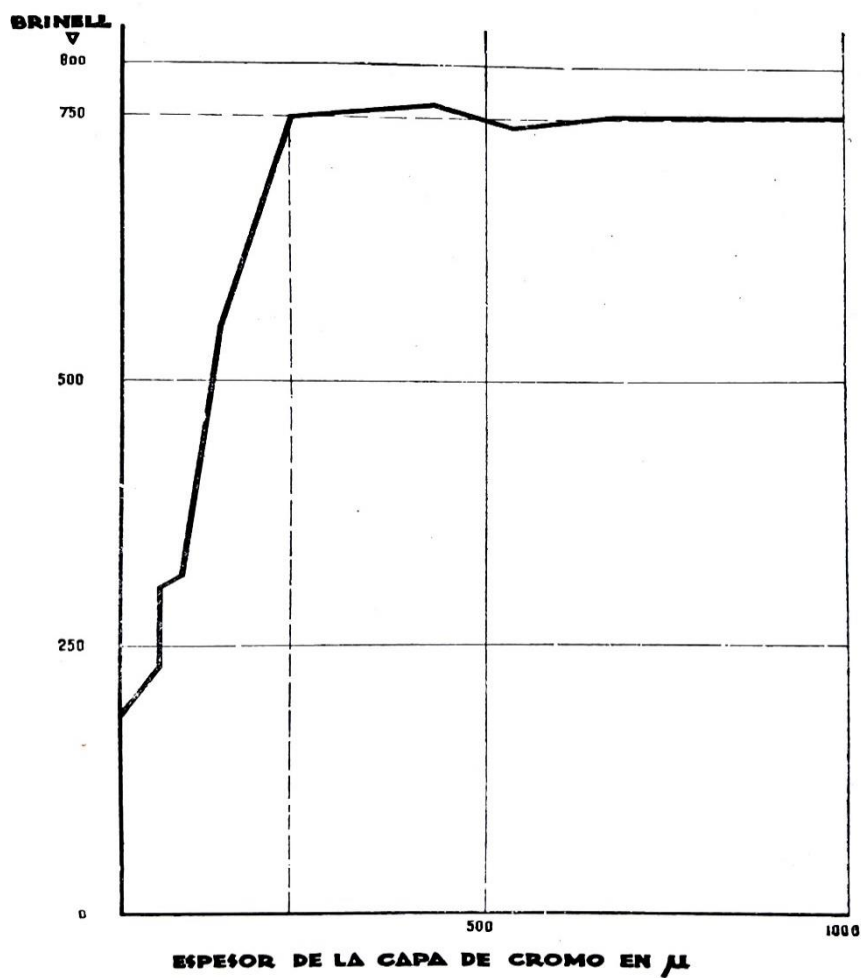


Figura 3. Curvatura de la dureza medida en espesores hasta 1 mm bajo 10 kg de presión [2].



Estos datos permiten ver con claridad que mientras no se alcance un proceso en donde el espesor sobrepase las dos décimas, la dureza del material, que no es otra que su resistencia a la penetración, no se verá incrementada en su totalidad hasta alcanzar el límite de sus características, que son muy similares a las propias del cromo en sí.

Aun así, se debe tener en cuenta que, en estos casos, al encontrarse durezas mayores 750 Brinell, equivalentes a 1.000 Vickers, puede afectar muy negativamente a los fenómenos de tensiones internas, dando lugar a una gran fragilidad de la película de cromo, como se ha llegado a dar en numerosos casos prácticos [2].

Otra característica para tener en cuenta, a partir de tal dureza, es la imposibilidad de mecanizar el cromo con cuchilla, debido a que la dureza del cromo sobrepasa a la del cuarzo, ni siquiera con cuchillas de carburo, por muy duras que sean, ya que el único resultado que se obtendría sería el destrozo ambos materiales a la menor tentativa. Esto da lugar a que, a la hora de trabajar el cromo, sea forzoso recurrir al rectificado con muela, el cual se detallará en los siguientes puntos.

3.1.5. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

Frente a fenómenos de oxidación, los metales pueden comportarse como activos o como pasivos, siendo este segundo grupo los considerados como metales precisos, y, por tanto, resistentes.

Si se tiene en cuenta las tensiones electrolíticas de algunos metales, el cromo figura, en comparación con el hierro, de la forma siguiente:

Tabla 5. Tensiones electrolíticas de metales [2].

Metales	V
Zinc	0,76
Cromo	0,60
Hierro	0,43
Níquel	0,23

Según la siguiente tabla, si se tiene en cuenta que la protección galvano-técnica de los metales se basa principalmente en la formación de películas de un material electropositivo con respecto al material al que se dirige su protección, se debería deducir que el Zinc sería más eficaz que el cromo a la hora de proteger eficazmente al hierro. Pero, a la hora de la



verdad, no es así, debido a que la escala de tensiones se dieron lugar a partir de mediciones teóricas conseguidas con el metal activo, mientras que, en los casos prácticos, el cromo se “pasiva” rápidamente y consigue un potencial electroquímico de la magnitud de un metal noble, protegiendo de manera más eficaz al acero y al hierro [2]. De aquí proviene la utilización del cromo duro en contra de elementos o productos corrosivos.

Para conseguir la protección deseada, por ello, eficaz y segura, se debe tener en cuenta que no existan la presencia de porosidades, debido a que, si algún agente corrosivo llega al material base a través de los poros de la película, esta película dejará de actuar de forma pasiva, y actuará catódicamente.

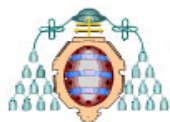
Uno de los factores que permite a la película de cromo duro proteger de forma eficaz una superficie de acero, incluso con espesores de sólo 0,05 o inferiores, es que haya sido previamente rectificada y pulida, con el fin de reducir o eliminar poros, microfracturas, impurezas, etc., los cuales afectarían a la eficacia de la protección.

Otro parámetro importante de este metal es la estructura finamente cristalina, la cual tiene una capacidad de absorción, retención o humedecimiento prácticamente nula, por lo que tienden a deslizarse todo tipo de líquidos, polvo, grasa, virutas, limaduras, etc., aun así, se debe tener en cuenta que, si el espesor del cromo no es suficiente, debido a esta misma naturaleza microfracturada, el agente corrosivo puede alcanzar al sustrato a proteger. [5].

Debido a su poca reactividad con productos oxidantes o reductores, el cromo resiste a la mayor parte de ácidos y alcalinos. En la tabla 6 se indica la resistencia de las películas de cromo a determinados productos químicos, orgánicos e inorgánicos.

Tabla 6. Resistencia de las películas de cromo a la corrosión (National Research Council) [2].

Materia	Reacción
I. Productos complejos y mezclas	
Atmósfera caliente y oxidante	Resiste
Atmósfera caliente y reductora	Resiste
Baquelita caliente durante el moldeado	Resiste (no se motea)
Latón den fusión	Resiste
Agua salada neutra	Resiste
Bronce de aluminio fundido	Resiste
Gas de hulla	Resiste
Cianuros fundidos	Resiste
Ebonita durante la fusión	Resiste
Ácidos de frutas	Generalmente resiste
Gasolina en combustión	Resiste
Productos calientes de la combustión de la gasolina y otros carburantes	Resiste



Vidrio fundido	Resiste
Aceites brutos	Resiste
Aceites esenciales	Resiste
Aceites de minerales calientes	Resiste
Resinas sintéticas y vinílicas	Resiste
Líquidos sulfurosos	Resiste a la temperatura de ebullición
Tanino (1-2)	Resiste
Zinc fundido	Atacado
Tintes de imprimir	Resiste

II. Productos químicos

Ácidos

Arsénico (1-2)	Ataque moderado
Clórico (1-2)	Ataque rápido
Ácidos clorados	Atacado
Crómico	Ataque lento
Bromhídrico (1-2)	Atacado
Clorhídrico	Ataque rápido
Fluorhídrico	Atacado
Sulfúrico y nítricos mezclados	Resiste
Nítrico (1-3)	Ataque moderado
Nítrico 100 % (3)	Ataque moderado
Perclórico (1-2)	Atacado
Fosfórico (1-2)	Atacado
Fosfórico 85 %	Resiste

Productos alcalinos

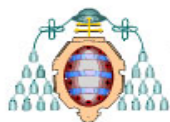
Amoníaco	Resiste
Carbonato de sosa	Resiste
Sosa cáustica	Resiste

Sales

Alumbre	Resiste
Cloruro de aluminio (1-2)	Ataque ligero
Sulfato de aluminio (1-2)	Ataque moderado
Cloruro de amonio (1-2)	Ataque moderado
Cloruro de bario (1-2)	Resiste
Cloruro de cal	Ataque moderado
Hipoclorito de cal (1-2)	Atacado
Cloruro de cromo (1-2)	Ataque ligero
Cloruro cuproso (1-2)	Ataque rápido
Nitrato cuproso (1-3)	Ataque moderado
Sulfato de cobre	Resiste
Cloruro de magnesio (1-2)	Ataque moderado
Cloruro de manganeso (1-2)	Resiste



Cloruro potásico (1-2)	Resiste
Cloruro sódico (1-2)	Resiste
Sulfato de sosa (1-2)	Resiste
Cloruro de zinc	Ataque ligero
Cloruro de zinc (1-2)	Resiste
Gases varios	
Amoníaco	Resiste, se hace quebradizo
Ácido carbónico	Resiste
Óxido de carbono	Resiste
Cloro seco	Resiste hasta 300°C
Cloro húmedo	Atacado
Hidrogeno sulfurado	Resiste
Oxígeno	Oxida a partir de 1.200°C
Azufre	Resiste hasta 300°C
Ácidos alifáticos	
Acético (1-2)	Ataque moderado
Butírico	Ataque moderado
Cítrico (1-2)	Resiste
Fórmico	Ataque moderado
Glucónico (1-2)	Resiste
Láctico (1-2)	Ataque moderado
Láctico	Resiste
Monocloracético (1-2)	Resiste
Oleico a 100 % (2)	Resiste
Oxálico (1-2)	Resiste
Esteárico a 100 % (2)	Resiste
Esteárico a 100 % a 340°C	Resiste
Tartárico (1-2)	Ataque ligero
Tricloroacético (1-2)	Ataque ligero
Úrico	Resiste
Ácidos aromáticos	
Benzol-sulfónico (1-2)	Resiste
Benzoico (1-2)	Resiste
3-5 ditrino benzoico	Resiste
M-nitrobenzoico (1-2)	Resiste
Salicílico (1-2)	Resiste
Fenoles	
M-aminofenol (1-2)	Resiste
Clorohidroquinona (1-2)	Resiste
O-clorofenol (1-2)	Resiste
P-nitrofenol (1-2)	Resiste
Fenol (1-2)	Resiste



Ácido pícrico (1-2)	Resiste
Pirogalol (1-2)	Resiste
Diversos	
Cloruro de bencilo (3)	Resiste
Tetracloruro de carbono	Es atacado en húmedo
Clorobenzol (3)	Resiste
Cloroformo	Resiste
Benzosulfonato sódico (1-3)	Resiste
Formiato de sodio (1-3)	Resiste
Fenolsulfonato sódico (1-3)	Resiste
Tetraclorobenzol (3)	Resiste

(1) En solución al 10% en agua destilada.

(2) A 58°C. A temperatura ambiente, el ataque es, por lo general, más moderado.

(3) A 50°C. A temperatura ambiente, el ataque es, por lo general, más moderado.

Si bien se puede observar que el cromo resiste de forma muy ventajosa los ataques de un elevado número de elementos, tanto suaves como agresivos, existen, sin embargo, varios frente a los cuales no les hace frente, viéndose afectado de forma más o menos rápida.

En los casos en los que se presenten dudas a la hora de indicar de una forma segura las características agresivas del elemento en cuestión, es prudente asegurarse sobre su comportamiento consultando una obra de química.

Entre los elementos agresivos más activos cabe mencionar especialmente al ácido clorhídrico, el cual, al hacer contacto con el cromo, este se evapora. Esto no tiene por qué ser un supuesto negativo para la totalidad de los casos, debido a que, en los procedimientos de cromados de piezas, en casos específicos, es necesario eliminar previamente la película de cromo que posee la pieza, con el fin de lograr mejores tratamientos posteriores; por lo que para obtener tales resultados será necesario hacer un previo ataque con ácido clorhídrico a la zona a tratar de la pieza.

3.1.6. COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

Gran parte de los trabajos en los que está implicado el cromo duro están relacionados con rozamientos continuos. Esto se debe a su bajo coeficiente de rozamiento, lo que convierte al cromo en una de las mejores opciones para estos trabajos, como se puede observar en la siguiente tabla:

*Tabla 7. Coeficientes de rozamiento [2].*

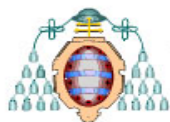
Metal	Estático	En deslizamiento
Cromo sobre cromo	0,14	0,12
Cromo sobre antifricción	0,15	0,13
Cromo sobre acero	0,17	0,16
Acero sobre antifricción	0,25	0,20
Antifricción sobre antifricción	0,54	0,19
Acero sobre acero	0,30	0,20

El rozamiento que ofrecen las superficies cromadas es siempre suave o untuoso, y por ello, en lugar de producir efectos característicos propios del desgaste mecánico (grietas, zonas ásperas, “gripajes”) sobre las superficies sobre las que actúa, por el contrario, las convierte en zonas más lisas y finas, aun produciéndose un rebaje de sus dimensiones por efecto del desgaste.

Pese al buen comportamiento del cromo frente a numerosos casos, existen muy malos rendimientos en condiciones particulares, como puede tratarse en el rozamiento de cromo frente a bronce muy fosforados a velocidades y cargas elevadas, frente a bronce al aluminio o a los que contienen berilio, o aún contra el mismo, como se puede observar en la tabla 7, en donde los resultados serían completamente desastrosos. Debido a estos casos, es inútil insistir en que dicha suavidad o untuosidad preserva contra los agarrotamientos, pese a limitarse a las velocidades de trabajo y permanentes lubricaciones.

Esta misma propiedad tiene por otro lado el efecto conveniente de reducir de forma sensible el calentamiento de piezas móviles, lo que permite, en numerosas circunstancias, incrementar de forma notable la velocidad de régimen [1].

El coeficiente de rozamiento aumenta con la temperatura de trabajo, alcanzando valores altos al llegar alrededor de los 150°C, por lo que teniendo en cuenta estos parámetros, las condiciones de trabajo de una pieza cromada, en relación con el coeficiente de rozamiento, deberán de ser puestas bajo estudio con todo cuidado posible, debido a que el cromado inadecuado de la pieza, malos ajustes de temperatura, velocidades, engrase o tipo de lubricante y numerosos aspectos más pueden llegar a producir agarrotamientos o fallos que den lugar a averías graves.



4. INSTALACIONES DE UNA PLANTA DE CROMADO DURO

La planta destinada al trabajo de cromo duro debe reunir las condiciones normales para toda clase de talleres galvánicos, que, por lo general, resulta conveniente montarla de forma más próxima a las secciones de montajes y rectificación, tratamientos térmicos, etc., que, a las secciones de acabado, pues estas primeras guardan más relación y dependencia con el cromo duro, en comparación con estas últimas. Por razones similares, el personal obrero que trabaja en el cromado duro procede más bien de plantillas de ajustadores, mecánicos o electricistas.

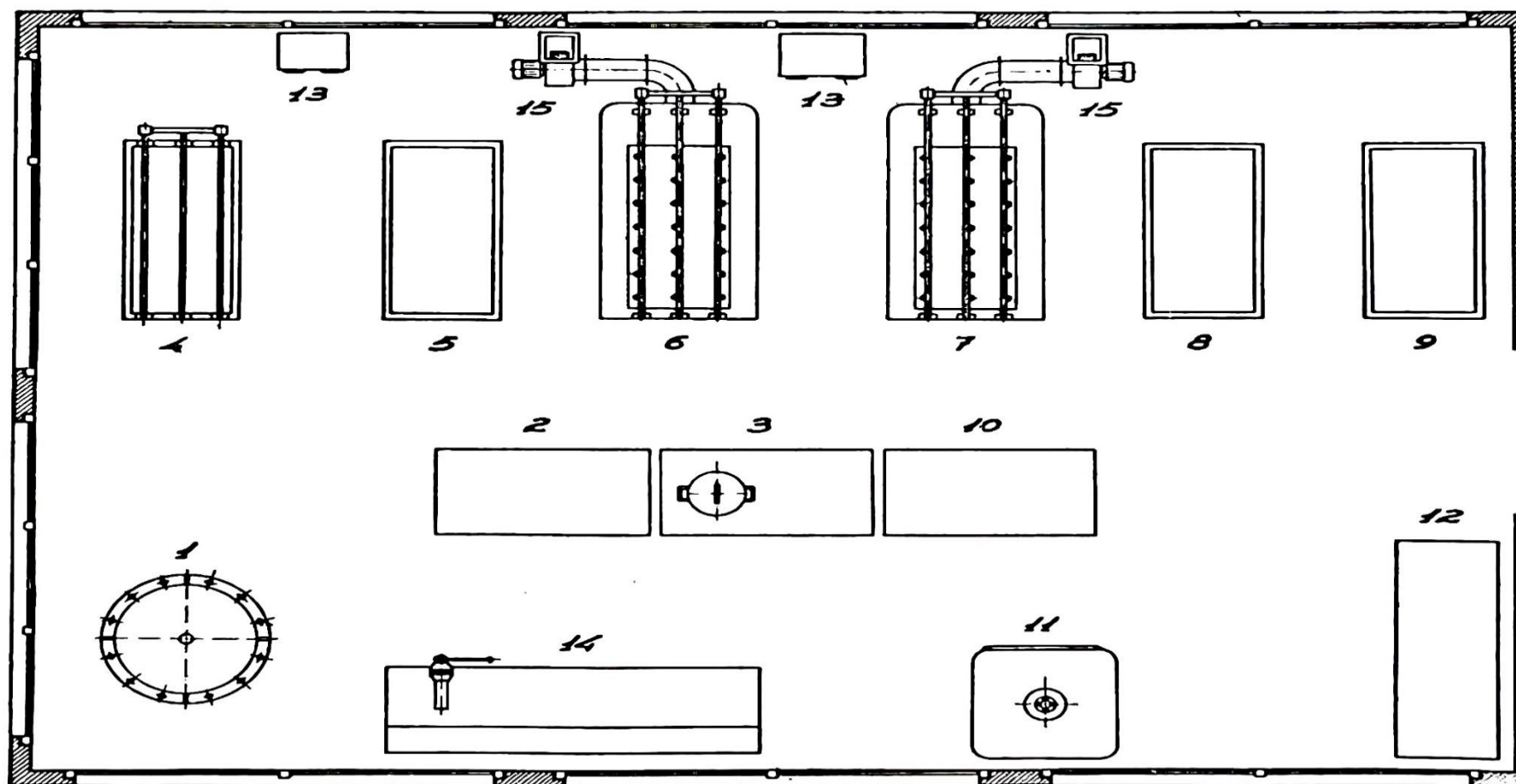
En todos los casos, el taller de cromado duro deberá contar con uno o varios bancos de ajuste, una gran variedad de útiles mecánicos (taladros, herramientas de corte, etc.) para la construcción y reparación de los soportes, ánodos especiales y otros accesorios de orden puramente mecánico, los cuales, como se verá más adelante, son indispensables para realizar todo tipo de procedimiento relacionado con el cromado de piezas.

El piso de la planta/nave se debe limpiar constante y diariamente con agua de forma abundante, por lo que también deberá disponer de tomas de agua y desagües que hagan fácil esta limpieza que, se debe realizar con mayor énfasis en la zona de los baños.

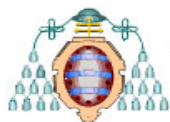
Es recomendable, además, proteger el piso con una o dos capas de losetas de gres, cubriendo las juntas con cemento antiácido e incluso aplicar capas de pintura especializada, todo ello sirve como protección ante el ácido crómico, ya que este puede corroer de forma muy rápida cementos o pavimentos de composición normal. La estructura metálica de la nave, vigas, columnas, tuberías, etc., se deben proteger también con recubrimientos de una o varias capas de pintura antiácida.

En la siguiente figura se da un ejemplo de cómo establecer una buena organización de una nave destinada a la práctica del cromado duro, en donde se establecen todas las instalaciones y componentes necesarios para proceder con dicha práctica.

Figura 4. Diseño esquemático de una instalación de cromado duro [2].



1. Desengrase y limpieza previo por tricloriteno.—2 y 14. Banco de montaje de piezas y ánodos auxiliares. —3. Mesa para recubrimientos de protección. —4. Desengrase electrolítico. —5 y 8. Cubas de enjuague de agua corriente.—6. Cuba de ataque anódico.—7. Cuba de cromado duro.—9. Cuba de enjuague de agua caliente.—10. Banco de desmontaje.—11. Deshidrogenado.—12. Mesa de verificación.—13. Rectificador y cuadro de maniobra.—15. Electroexhaustores.



4.1. DEPÓSITOS REQUERIDOS

Los depósitos que permiten la introducción de elementos químicos en su interior suponen uno de los aspectos más importantes en el proceso de cromado duro, proporcionando y garantizando un entorno necesario para el tratamiento electroquímico de superficies metálicas y sus derivados. En este ámbito tales depósitos son conocidos como cubas, que junto a una serie de componentes que trabajan de forma simultánea permiten un correcto tratamiento de las piezas, como bien se cita en los siguientes apartados.

4.1.1. CUBAS

La construcción de cubas que permitan una resistencia a la acción del ácido crómico ha sido siempre un tema a tratar con mucho cuidado, debido a la delicadez de los materiales que se tratan durante el proceso.

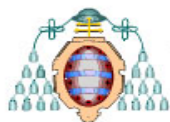
Para baños pequeños, de muy escaso volumen, se puede emplear el uso de cubas de gres o de cristal, tomando sus debidas precauciones para prevenir las posibles roturas, no solamente de golpes, sino también por los efectos de la temperatura de trabajo. Generalmente estas cubas se introducen en el interior de otras de acero y se calienta de forma indirecta cubriendo el fondo y todas las paredes, de forma uniforme, para obtener una óptima distribución del calor. También se puede emplear cubas de cuarzo fundido, las cuales poseen una resistencia mucho mayor y, además, permiten calentarse de forma directa [2].

En baños de mayor capacidad, a partir de unos 30 litros se usan cubas de planchas de acero soldada y reforzada con perfiles laminados para evitar efectos producidos por la presión del baño en las paredes y en el fondo.

El interior de estas cubas se debe forrar con materiales resistentes y versátiles, que tengan buenas propiedades, como una buena resistencia química y térmica, resistencia a la abrasión de ácidos y disolventes, estabilidad dimensional (no absorbe humedad) y buen aislante eléctrico. Un gran ejemplo de este tipo de material es el PVDF (fluoruro de polivinilideno), este es un fluoropolímero termoplástico, que cumple perfectamente con las propiedades requeridas y que lo convierte en un material muy utilizado en este tipo de aplicaciones, otros ejemplos de materiales que se pueden encontrar son el cloruro de polivinilo, metacrilato de metilo, porcelana, etc.

Por obvias razones nunca se deberá utilizar materiales como la goma, madera, etc.

Las cubas metálicas, y todos sus accesorios, se deben aislar del piso con el fin de evitar fenómenos eléctricos que puedan perturbar el proceso. Asimismo, mediante el empleo de dichos materiales, deben aislarse entre sí las tuberías de calefacción de alimentación y retorno, y las tuberías de aspiración de los gases.



Para establecer las dimensiones de la cuba los principales factores para tener en cuenta son los siguientes:

- Tamaño de las piezas a tratar y el número de piezas dispuestas a ser cromadas simultáneamente.
- Las dimensiones de los soportes o ganchos, que, en muchas ocasiones son más voluminosos que las propias piezas.
- La disposición más conveniente de los ánodos durante el cromado.
- La posible introducción de termostatos o elementos para el control de temperatura, que deben guardar una separación mínima de 100 mm respecto a los electrodos.
- Disposición de los elementos de calefacción sumergidos en el baño, puesto que, si se encuentran en zonas próximas a las piezas, pueden reblandecer sus elementos protectores.
- Toda instalación debe mantener una buena relación amperios-litro, que generalmente oscila alrededor de 2 amperios por litro.
- Consideraciones de tipo económico.

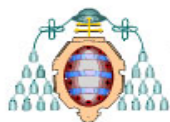
4.1.2. CUBAS DE ENJUAGUE

No solamente se debe tener en cuenta las cubas destinadas a contener los baños, sino que también se debe disponer de cubas para el enjuague, cuyo proceso es necesario antes y después de cada tratamiento. Las dimensiones de esta pueden ser de tamaños algo menores que las cubas de cromado, puesto que no hace falta la disposición de ánodos. En las plantas, conviene colocar las cubas de enjuague entre cada uno de los tratamientos de cromo, y todas ellas sobre un mismo eje, que permita una mayor comodidad y facilidad al momento del traslado de las piezas, mediante el empleo de polipastos deslizantes.

Después del cromado, es necesario lavar las piezas con agua, para limpiarlas, siendo conveniente recuperar los restos del baño de cromo arrastrados por la pieza y su soporte.

Las cubas pueden ser de hierro, requiriendo un extra de protección con plásticos de buena resistencia, en caso de ser una cuba destinada a la recuperación de las partículas de los baños deben disponer de una entrada en la parte inferior de la cuba y otra por la parte superior, situada a la altura del líquido que se precise. En el lado opuesto de estas entradas, se debe disponer de una salida de evacuación, que junto a las dos entradas y junto un sistema integrado con válvulas se permita regular de manera correcta la circulación, de forma que se produzca el enjuague y al mismo tiempo se realice la evacuación de los residuos arrastrados por el material.

Algunas veces resulta indispensable el uso de sistemas de agitación de aire comprimido o de inyección a presión por bomba, con el objeto de realizar un enjuague más rápido y seguro.



4.1.3. DISPOSITIVO DE AGITACIÓN

En el cromado de piezas de amplio volumen, con formas muy complicadas, o cuando se trabaja con volúmenes de baño muy grandes, es prácticamente indispensable el empleo de sistemas de agitación. Este sistema funciona mediante el desprendimiento gaseoso a través de la inyección de corrientes de aire comprimido. La corriente de aire nunca debe ser proyectada directamente sobre las superficies de tratamiento, ya que daría lugar a irregularidades en el cromado.

El aire ha de ser lo más puro posible, con el fin de evitar la introducción de aceites, polvos, materias extrañas o impurezas en los baños.

Esta agitación tiene como objetivo principal uniformar la disolución de los baños y sus temperaturas, acelerar la circulación, y consiguientemente, facilitar e impulsar la salida de gases producidas en zonas interiores.

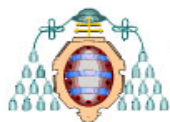
Para permitir una buena proyección del aire, es indispensable un compresor y la construcción de serpentines o pequeños tubos de plomo o de plásticos resistentes, que dispongan de orificios en la zona de salida del aire en el interior de las cubas. La forma, dimensiones o disposición en la que se van a colocar los tubos en interior la cuba son parámetros para tener en cuenta a la hora de su construcción, que dependerá del efecto final que se quiera conseguir, no obstante, debe evitarse, en todos los casos, que la agitación afecte al fondo de las cubas y que produzca, por consiguiente, el movimiento de los posos y lodos. Por ello se deben colocar los orificios de salida del aire a una altura mínima que permita la prevención de estos movimientos.

4.2. SISTEMAS DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Los sistemas de regulación de temperatura en los baños de cromado duro son cruciales para mantener constantes los parámetros de trabajo, asegurando de tal forma la calidad y consistencia del recubrimiento. Estos sistemas permiten mantener la solución de cromado dentro de un rango de temperatura óptimo, lo que es esencial para la eficiencia del proceso electroquímico y para evitar defectos en el acabado de las piezas tratadas. En este apartado, se analizarán los diferentes métodos y tecnologías utilizados para controlar la temperatura en los baños de cromado duro, destacando su importancia y los beneficios que aportan al proceso.

4.2.1. CALEFACCIÓN

Los baños de cromado duro trabajan a temperaturas del orden de los 50-55°C, su calefacción, una vez alcanzada dicha temperatura, debe ser ligeramente reducida, debido



a que las intensidades de corriente que son aplicadas durante el procedimiento producen, por efecto Joule⁷, una elevación de la temperatura [2]. En la práctica, una vez se producen las primeras horas de trabajo continuo, se debe no sólo interrumpir la calefacción, sino incluso realizar la refrigeración de los baños. Por esta razón, en la gran mayoría de instalaciones se prescinde de un aislamiento térmico.

La determinación del grado de calefacción en una instalación se verá influida por valores como la capacidad de las cubas, intensidad del sistema de aspiración, temperatura ambiente, intensidades de corriente aplicadas, continuidad en el trabajo, etc.

Los sistemas de calefacción más prácticos son los eléctricos, pese a no ser los más económicos, por ello en instalaciones de gran capacidad se utiliza vapor o agua caliente, o también cuando puede aprovecharse de alguna instalación existente en el taller. Otros métodos muy habituales son el empleo de calefacción por gas o de baño María, siendo necesario doble cuba para ambos casos.

Con sistemas de calefacción directa se pueden emplear calentadores de inmersión de cuarzo, rodeados y separados con 30 mm de tubos de plancha perforados, para permitir la circulación del baño a su alrededor y para protegerlos contra golpes.

La calefacción directa de los baños con serpentines de agua caliente o vapor tienen grandes riesgos, ya que estos se pueden ver afectados por golpes y con ello perforaciones en los serpentines, aún con el empleo de materiales muy resistentes como acero inoxidable, plomo, o incluso titanio.

En ningún caso, para la calefacción, se deben emplear métodos de aplicación directa de una llama sobre el fondo o sobre las paredes de la cuba, aun habiendo realizado un refuerzo de su espesor.

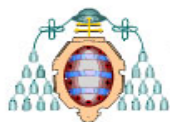
En la práctica, para baños de capacidad de 100 litros, se considera suficiente aplicar una potencia eléctrica de 3 kW, que partiendo de temperatura ambiente de 10°C, puede calentar y poner a puesta la instalación en un periodo de tiempo de 2 a 4 horas. En baños de capacidades de 500 litros, se emplean potencias de unos 6 kW, y en los de 1.000 litros de unos 12 kW [2].

En los casos de instalaciones que trabajan durante toda la jornada se permite una mayor rapidez en su puesta a servicio, puesto que se mantiene parte del calor del día anterior.

4.2.2. REFRIGERACIÓN

Como bien se ha citado con anterioridad, el empleo de altas intensidades de corriente produce, por efecto Joule, una elevación de temperatura, que puede llegar incluso a compensar las pérdidas de calor que se producen durante el proceso de cromado, haciendo

⁷ Fenómeno irreversible por el cual si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor.



que se pueda prescindir de la calefacción al alcanzar las temperaturas de trabajo. En la práctica, una gran parte de los baños que trabajan continuamente no necesitan calentamiento después de unas 2 horas de trabajo (dependiendo de instalaciones, intensidad, etc.), incluso, a partir de ese momento, si el trabajo es continuo, es necesaria la refrigeración.

En los casos que se disponga de doble cuba y con calefacción indirecta, el efecto de refrigeración se obtiene fácilmente haciendo circular agua fría por el baño maría, produciendo así la disminución de temperatura requerida.

En caso de no disponer de doble cuba, la refrigeración deberá realizarse mediante el empleo de serpentines que se disponen en las paredes de las cubas y que son construidos con tubos de plomo, acero inoxidable o titanio, los cuales permiten la circulación de agua fría.

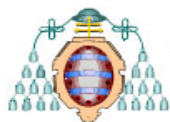
Durante el proceso de refrigeración, pese a disponer de todas las precauciones, se deben de tener en cuenta aspectos que pueden ser afectados, como desequilibrios en la composición, cambios de relaciones entre intensidad de corriente y temperaturas, etc., por ello el uso de dispositivos de agitación también es necesario durante este proceso y deben actuar de manera periódica en todo momento.

4.2.3. CONTROL DE TEMPERATURA

En la práctica del cromado duro, se debe trabajar entre estrechos límites de temperatura, que se comprenden entre $\pm 2^{\circ}\text{C}$. En las cubas de gran capacidad, naturalmente, mantener tales niveles de temperatura supone una gran dificultad, aun mediante el empleo de sistemas automáticos y sistemas de precisión.

Los sistemas que permiten una regulación automática más comunes están contruidos con termostatos o termómetros que incluyen contactos eléctricos, permitiendo así una correcta monitorización del circuito. Estos contactos, mediante el empleo de válvulas electrostáticas, abren o cierran la calefacción eléctrica y la refrigeración en caso de que la temperatura baje o suba, respectivamente, de los parámetros establecidos en los monitores de control.

Uno de los grandes inconvenientes para medir la temperatura con rapidez y exactitud es la imposibilidad de mantener en contacto los elementos metálicos de medición con la solución o baño, debido a su rápida corrosión. Para solucionar este problema es necesario proteger estos elementos con materiales resistentes, lo que da lugar a ligeros errores y retardos en la medición de temperatura.



4.3. INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE ASPIRACIÓN

Durante el proceso de cromado duro, se liberan vapores y aerosoles tóxicos, principalmente de ácido crómico, que, durante largos tiempos de exposición, pueden resultar peligrosos para la salud de los trabajadores y corrosivos para el equipo e instalaciones próximas, por ello se debe disponer de sistemas de aspiración eficiente que eliminan estos contaminantes del aire, reduciendo el riesgo de exposición y minimizando la corrosión de los componentes de la planta, como se cita en este apartado.

Además, la aspiración adecuada ayuda a cumplir con las normativas ambientales y de seguridad, evitando la liberación de sustancias peligrosas al ambiente. Esto no solo protege a los trabajadores, sino que también previene posibles sanciones y mejora la sostenibilidad operativa de la planta.

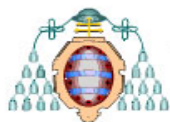
En el caso del cromo duro los efectos producidos por el empleo de temperaturas altas, intensidades de corriente mayores y tiempos de exposición más largos, agravan aún más estos riesgos. Por ello no debe trabajarse sin aspiración, ni siquiera en los casos en los que se realicen aplicaciones con pequeños baños de ensayo.

Una concentración de ácido crómico en la atmósfera superior a $0,1 \text{ mg/m}^3$, produce irritación en las mucosas nasales y de la garganta [2]. Los efectos de tal irritación dan lugar, consiguientemente, a perforaciones del tabique nasal y la formación de úlceras.

La aspiración también resulta imprescindible por la conveniencia de proteger todos los materiales y aparatos que se encuentran en el alcance de la fuerte acción corrosiva de los gases. Pese a la utilización de materiales resistentes en el equipo de aspiración y alrededores, esta acción corrosiva acaba afectando levemente, durante años de trabajo continuo.

El equipo de aspiración debe comprender, esencialmente, los siguientes elementos:

- Capota de aspiración: formada principalmente con chapas de acero inoxidable, o con plásticos resistentes. Su diseño, forma, volumen y posición se deben construir de forma que no sea un estorbo para la carga, descarga e inspección del baño, también debe disponer de aperturas que permitan un buen acceso a la limpieza en su interior. La aspiración producida a través de sus aperturas laterales debe tener la misma intensidad en todos los puntos de superficie del baño.
- Cámara de condensación: en los gases aspirados por la capota existen pequeñas partículas de ácido crómico, que den ser separadas lo antes posible, para evitar el ataque de las tuberías, exhaustor y chimenea. Esto se logra introduciendo, entre la capota y el exhaustor, una cámara donde se produce una depresión y enfriamiento que facilita la condensación de las partículas, los materiales deben ser similares a los de la capota, pero se debe tener en cuenta que en esta cámara la acción corrosiva es más intensa, por lo que requiere elevados elementos de protección.

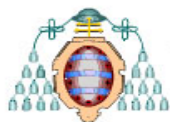


- Lavador de gases: En caso de no disponer de una cámara de condensación, se debe utilizar un lavador de gases, que, de la misma forma, permita separar las partículas de ácido crómico. Dependiendo de la cantidad de gases aspirados, velocidad de aspiración, se dispondrá de un número de mallas más alto o bajo, que actúan como elemento filtrador de los pequeños sólidos en suspensión. Estas deben ser de muy bajo gramaje y están formadas principalmente por PVC.
- Exhaustor: en este tipo de instalaciones, por lo general, son del tipo turbina multicelular, contruidos con plásticos, y en determinados casos de acero normal o acero inoxidable protegido con polietileno. En el cuerpo del aspirador se debe disponer de aperturas que permitan una correcta inspección y limpieza del interior, por lo que resulta conveniente colocarlo en puntos de fácil acceso. Un aspirador en malas condiciones da lugar a una menor potencia de aspiración, produciendo temperaturas inadecuadas en los baños y dando lugar a que los gases no alcancen de forma rápida la zona de filtrado, produciendo así altas condensaciones indebidas en las canalizaciones.
- Canalización general: El diseño del trazado de la chimenea se debe establecer en base a las dimensiones y características de la planta, cuba, capota y del aspirador. Debe disponer del mínimo número de curvas y el mismo tamaño de sección en todo el recorrido. En caso de que sea totalmente necesario la instalación de un trazado con curvas, es muy recomendable establecer puntos de purga, que mediante sistemas automáticos pueden recoger las partículas de baño condensadas en las paredes de las tuberías. En numerosos casos la chimenea también dispone de una serie de mallas con el fin de reducir al mínimo las pequeñas y escasas partículas que hayan podido atravesar la fase de filtración.

4.3.1. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ASPIRACIÓN

El cálculo preciso de una buena potencia de aspiración requiere de cierta atención, pues existen una gran cantidad de parámetros en cada cuba y en cada una de las instalaciones para tener en cuenta. En particular se debe precisar de más atención en las cubas que disponen de anchos superiores a 60 cm, pues el mayor desprendimiento de gases tiene lugar en el centro, en donde la aspiración es, naturalmente, más débil. Por esta razón, es obvio pensar que se necesita una aspiración de mayor potencia para resolver este problema, pero esto supone un gran error, ya que se crean otra serie de inconvenientes, no menos importantes, como una intensa evaporación de los baños con mayores pérdidas de ácido crómico y un mayor desgaste de los materiales del sistema de aspiración.

El volumen de aspiración oscila entre los 2.000 y 3.000 m^3 de aire por hora y m^2 de superficie útil de baño. La velocidad del aire en los conductos de ventilación debe de ser de 500 m/min o superior [2]. En los casos en los que las cubas sean superiores a 80 cm,



la mejor opción es disponer de tomas de aspiración en cada uno de los laterales, mientras que en los casos de cubas estrechas se puede permitir la aspiración por uno de los laterales.

El caudal o volumen de aspiración se calcula teniendo en cuenta la sección útil de una o más cubas en m^2 y se multiplica por un coeficiente de aspiración, específico de tal proceso, de $0,8 \text{ m/seg}$ por m^2 , obteniendo el caudal resultante necesario de aspiración, a continuación, se puede observar un ejemplo práctico de la aspiración necesaria para una planta que dispone de cuatro cubas de cromado duro, siendo cada una de ellas, de diferentes dimensiones:

Tabla 8. Cálculo de la sección útil en diferentes cubas que requiere de aspiración.

Largo útil (mm)	Ancho útil (mm)	Sección útil de las cubas (m^2)
1200	800	0,96
1000	700	0,7
1500	800	1,2
1300	1200	1,56
		Total: 4,42 m^2

Coeficiente de aspiración: $0,8 \text{ m/seg}$

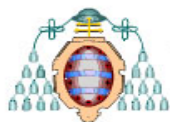
$$4,42 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ m/seg} = 3,536 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$3,536 \text{ m}^3/\text{seg} = 12.730 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal de aspiración necesario para la instalación de las cuatro cubas es de **12.730 m^3/h**

4.4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La instalación eléctrica requerida en los baños de cromo duro supone otro de los componentes vitales para el correcto funcionamiento del proceso de cromado. Esta instalación debe proporcionar y garantizar una corriente eléctrica necesaria para la electrólisis, proporcionando la uniformidad y adherencia del recubrimiento de cromo sobre las superficies metálicas. En este apartado, se abordarán los diferentes aspectos de la instalación eléctrica, incluyendo el diseño de los sistemas de alimentación, los dispositivos de control y seguridad, y las mejores prácticas para asegurar una operación eficiente y segura de los baños de cromo duro.



4.4.1. CORRIENTE ELÉCTRICA

A diferencia de los baños corrientes de Galvanotecnia, el cromado duro emplea el uso de una elevada densidad de corriente continua, que puede oscilar entre 20 y 100 A/dm^2 , aunque en los casos de trabajo más comunes el promedio se encuentra ente los 20 y 50 A/dm^2 [2].

La intensidad total necesaria en una instalación depende de las superficies de tratamiento a trabajar y de la densidad de corriente por decímetro cuadrado aplicada, por ejemplo, en el caso a cromar de un vástago cuya superficie útil a tratar es de 20 dm^2 , aplicando una densidad de corriente de 25 A/dm^2 , se necesitarían los siguientes amperios:

$$20 \, dm^2 \times 25 \, A/dm^2 = 500 \, A$$

El voltaje necesario para conseguir una buena aplicación de la densidad de corriente depende de muchos parámetros y de las condiciones en las que se realiza, como pueden ser la distancia de separación entre ánodos y piezas, la contaminación y estado de los baños, etc.

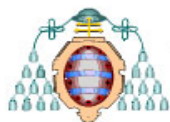
La tensión de trabajo normalmente se da entre los 3 y 6 voltios, pero, aun así, se debe contar con equipos que alcancen tensiones de 8 a 10 o incluso de 14 voltios, en caso de realizar trabajos muy determinados. No obstante, salvo que no haya pérdidas apreciables en la línea, las tensiones de trabajo habituales son más que suficientes.

4.4.2. FUENTE Y REGULACIÓN DEL POTENCIAL ELÉCTRICO

La corriente necesaria puede ser obtenida a través de dínamos o de rectificadores, siendo este último el más habitual en la gran mayoría de instalaciones debido a sus ventajas técnicas y económicas que ofrece por encima del dinamo. Una de estas ventajas es la capacidad de poder colocar varias unidades de rectificadores en paralelo.

No resulta conveniente el uso de un único rectificador o dinamo para una alimentación simultánea de varios baños, pues, aun disponiendo de sistemas de regulación de las corrientes, al cargar y descargar se pueden producir alteraciones en la red continua que influyan en el funcionamiento de los restantes. Esto puede llegar a dar dificultades, ya que, el cromado duro realiza un trabajo entre muy estrechos límites de corriente.

La mejor solución es la disposición de un rectificador por cuba de cromado, y otro, a parte, para servicios auxiliares. Al adoptar un sistema de corriente continua independiente



para cada cuba se permite una simplificación para realizar regulaciones directas, mediante la excitación del dínamo o mediante el control primario del transformador del rectificador.

Los sistemas de regulación deben permitir trabajar desde mínimos de 3 voltios hasta el total nominal disponible, siendo verdaderamente necesarios los valores comprendidos hasta una aproximación de 13 voltios.

Hoy en día existen variadores que facilitan mucho el automatismo de regulación, pues el movimiento de la escobilla puede hacerse de forma mecánica por medio de motores reductores asociados en ambos sentidos por conectores puestos en marcha mediante el sistema de regulación adoptado.

Para la instalación de los dínamos o rectificadores es indispensable mantener mínimos de distancia de seguridad y tomar los cuidados necesarios para la protección contra la corrosión y salpicaduras de las partes más delicadas. Aunque, en cualquier caso, los mandos de regulación eléctrica deben situarse próximos a los baños, pues en numerosas ocasiones van a ser necesarias rápidas maniobras como resultado de observaciones efectuadas sobre el mismo baño.

Estos aparatos de regulación, incluido el amperímetro, deben ser de buena calidad, resultando conveniente realizar verificaciones y ajustes de forma periódica, y siempre en caso de observar algún tipo de anormalidad.

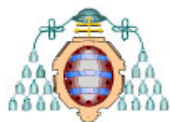
4.4.3. ARMADURA DE CONDUCCIÓN

La armadura de conducción tiene como objetivo la distribución de la corriente y la suspensión de electrodos, que se debe construir, en cada caso, bajo las conformidades del trabajo a realizar, por lo que en estas instalaciones es difícil establecer reglas más o menos fijas.

En ciertos casos, es prescindible el uso de armadura de suspensión de las piezas, ya que estas se pueden sostener sobre el baño con el mismo polispasto con las que son transportadas, y la corriente continua se lleva a la pieza mediante barras o pletinas generales que permitan la conducción y sean de fácil y rápida conexión.

Otras veces, la pieza se coloca en un bastidor o soporte y se disponen de ánodos especiales, en donde todo el conjunto se cuelga de una barra aislada eléctricamente y que hace innecesaria toda la armadura, siendo así el caso de cromado de camisas de cilindro, aros de pistón, anillos, etc.

Se debe estudiar detalladamente un buen diseño de armadura para los casos en los que las piezas deban colgarse de esta, en posición normal y entre un par de ánodos, para que permita una mayor facilidad a la hora de desmontar o realizar modificaciones en esta según las preferencias.



Las partes de la armadura deben ser sometidas a buenas limpiezas, de forma periódica y preferiblemente, al realizar esta limpieza se deben apartar los montajes de encima de las cubas, para evitar la caída accidental de cualquier partícula de ácido o producto de limpieza que produzca contaminaciones en los baños.

4.5. ÁNODOS

En la práctica del cromado duro los ánodos corrientemente empleados están hechos de aleaciones de plomo con 8 % de antimonio, debido a que el plomo puro es rápidamente atacado. También se fueron introduciendo el uso de otro tipo de ánodos de diferentes aleaciones, como el plomo-estaño con adiciones de telurio o de plata, consiguiendo así un mejor comportamiento del material y alargando su vida de forma considerable [2].

Han sido numerosos los intentos de modificaciones de materiales destinados a la creación de ánodos destinados al cromo duro, pero ninguno de ellos ha logrado alcanzar resultados interesantes ni ventajas decisivas, entre estos intentos se encuentran metales o aleaciones más resistentes que el plomo, tales como el acero, níquel, ferrocromo, aceros inoxidables, aleaciones de hierro-cromo-silicio, etc.

Los ánodos deben tener forma de tiras planas y con secciones piramidales en una o ambas caras para proporcionar una mejora en la dispersión de corriente. También deben incluir ganchos de cobre fuertemente unidos o soldados al plomo y mecanismos que permitan una buena sujeción a la armadura del baño. El ancho de los ánodos no debe ser superior a los 50 mm, y el largo dependerá del de la pieza dispuesta a cromar [2].

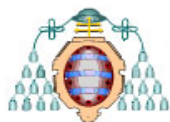
Una propiedad para tener en cuenta es que los ánodos trabajan en buenas condiciones no precisamente cuando están totalmente limpios, sino cuando tienen en su superficie una ligera capa de peróxido de plomo de color castaño oscuro. Por ello, resulta conveniente hacerles trabajar, antes de empezar el cromado, bajo la acción de una fuerte densidad de corriente, para favorecer la formación de esta película [2].

Después de un tiempo, los ánodos se recubren de otra capa rojiza más dura y espesa que la anterior mencionada, con tendencia a formar costras o escamas, dando lugar a un aumento considerable de la resistencia eléctrica, siendo necesario, por esta última razón, una rigurosa limpieza de los ánodos.

La limpieza de los ánodos puede efectuarse en una solución preparada de:

Tabla 9. Solución para la limpieza de ánodos.

Agua	1 litro
Cloruro Sódico	200 gramos
Ácido clorhídrico	20 cm ³



Se debe combinar con la acción de un cepillo metálico de alambre no mayor de 0,12 mm de diámetro, para no dañar excesivamente el material. Una vez limpios se deben enjuagar de forma abundante antes de su introducción a los baños, para evitar así contaminaciones indebidas. También se puede recurrir a una limpieza electrolítica en los baños de descromado, haciéndolos trabajar como cátodos.

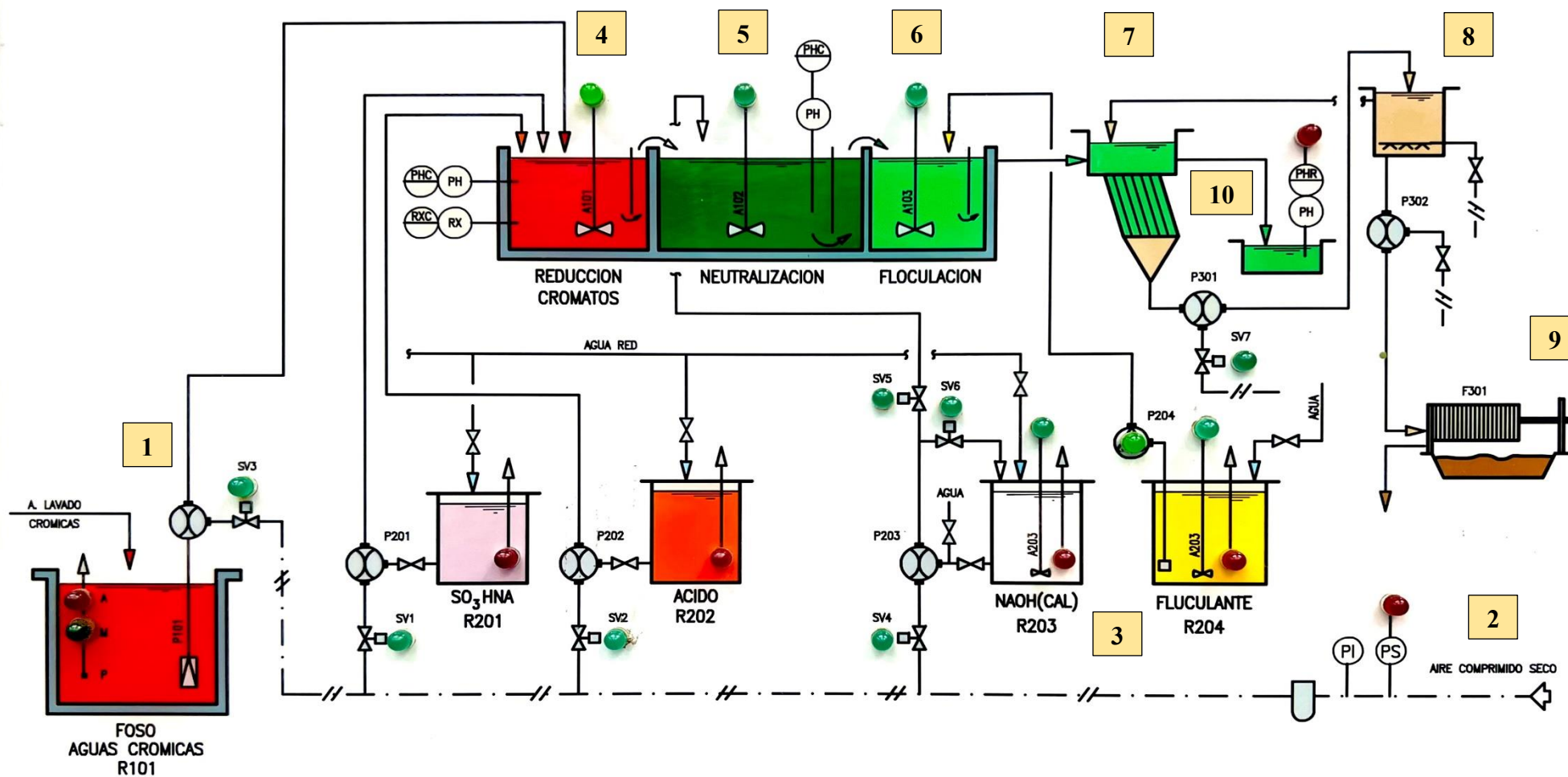
Los ánodos se deben distribuir alrededor de la pieza, de forma que todas las líneas de corriente lleguen por igual a todas las partes de superficie útil a cromar de dicha pieza. Teniendo esto en cuenta es necesario estudiar en cada caso la colocación, cantidad, tamaño y forma de los ánodos para lograr tal objetivo, necesitando en muchas ocasiones el empleo de ánodos especiales o auxiliares para alcanzar zonas de las piezas en donde la corriente tiene difícil acceso.

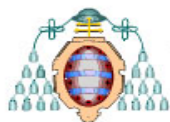
4.6. DEPURADORA DE AGUAS CRÓMICAS

Una depuradora es una instalación clave que permite tratar y purificar de forma automática las aguas residuales generadas por los agentes químicos empleados durante el cromado, con el fin de cumplir con la normativa vigente sobre la exposición de contaminantes sobre el agua. A continuación, se da un ejemplo esquematizado de una depuradora de aguas crómicas y un resumen de su metodología de funcionamiento:



Figura 5. Diseño esquemático de una depuradora de aguas crómicas.





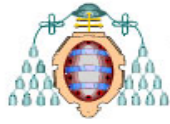
4.6.1. PROCESO DE DEPURACIÓN

La planta de cromado duro debe disponer de tuberías y canaletas bien aisladas y debe estar dispuesta de bombas que permitan un correcto transporte de las aguas contaminadas, evitando en todo momento posibles filtraciones o derrames. Estos circuitos deben alcanzar un foso de aguas crómicas, en donde comenzará el proceso de depuración:

- 1) Volumen del foso de aguas crómicas (tanque-R101): En el momento en el que el volumen de aguas crómicas procedentes de las canaletas y desagües indique un nivel establecido, se puede comenzar con los preparatorios para la depuración.
- 2) Activar de aire comprimido seco: Esta acción es fundamental para que las bombas de la depuradora realicen la función de succión, en caso de no realizarse su activación, la depuradora no funciona.
- 3) Activar agitadores: es recomendable la activación de los agitadores del depósito de cal (NaOH) (tanque-R203), floculante (tanque-R204), tanque de reducción de cromatos, tanque de neutralización y tanque de floculación. Esta acción puede evitar escasos rendimientos de las bombas o incluso obstrucciones en las tuberías. Se debe realizar durante al menos 5 minutos, con el fin de eliminar los elevados depósitos que se forman en el fondo de dichos tanques.

Una vez realizadas estas primeras acciones ya es posible realizar el proceso completo de depuración, en donde, para ello, se activan todas las bombas, agitadores y mecanismos requeridos.

- 4) Reducción de cromatos: las aguas residuales son transportadas mediante la acción de una bomba hasta el foso de reducción, en donde se indica el nivel de acidez presente. Este nivel se debe mantener dentro de unos valores límite, por lo que, si la acidez aumenta o disminuye, la sonda de PH envía una señal a un sistema de regulación automático que realiza adiciones de bisulfito (SO_3HNA) (tanque-R201) y de ácido clorhídrico (tanque-R202), mediante la acción de bombas. Al alcanzar un volumen de líquido determinado, este rebosa y es transferido mediante un conducto al siguiente foso.
- 5) Neutralización: en este proceso se dispone de un sistema similar al anterior, en donde según el aumento o disminución del valor establecido en una sonda, se produce una regulación automática, en este caso, mediante el añadido de cal (NaOH). El líquido es transferido al siguiente foso a través de un conducto como el apartado anterior.
- 6) Floculación: mediante la adición regulada de floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales y sólidos en suspensión que se encuentran en el agua, otorgando de esta forma una mejor decantación y posterior filtrado.



- 7) Decantador: Una vez se produce la floculación de las aguas, se produce la separación de agua limpia y de sólidos en suspensión, en donde, el agua es filtrada y transferida al proceso de salida 10), y los sólidos una vez alcancen un determinado nivel, estos son transferidos mediante la acción de una bomba al proceso 8).
- 8) Foso de filtrado o espesador: En este proceso se realiza otra decantación de las partículas más sólidas, en donde una vez separadas, el agua resultante es transferida de nuevo al proceso 7), dando lugar a un circuito cíclico de filtrado, mientras que los lodos más sólidos son transferidos al proceso 9).
- 9) Filtros de prensa: Este supone el último proceso de filtración de partículas sólidas, en donde los lodos son filtrados a través de unas mallas muy finas, dando lugar a una limpieza completa del agua, y a los residuos LER 190205.
- 10) Foso aguas limpias: El agua obtenida ya filtrada procedente de los procesos 7) y 9) es dirigida a este foso, en donde únicamente si los niveles de acidez cumplen con los parámetros establecidos por ley, estas aguas pueden ser transferidas a las aguas urbanas, siendo tales parámetros de PH entre (6-9).

5. FISIONOMÍA DEL REVESTIMIENTO BRUTO DEL DEPÓSITO

La fisionomía ofrecida por el cromo supone un papel fundamental en el procedimiento de preparación de la pieza a trabajar, afectando tanto a los procesos previos al cromado como a los procedimientos realizados para su correcta terminación y acabado, teniendo así un papel fundamental sobre el capital. Para determinar correctamente el comportamiento que ofrece el cromo se deben considerar los siguientes puntos de vista: perfil que otorga el revestimiento, estado topográfico superficial y su contextura.

5.1. PERFIL GENERAL Y LOCAL DEL REVESTIMIENTO

Es de suma importancia evitar la creencia de que el revestimiento se amolda con una perfecta regularidad al perfil que recubre, sino que, por el contrario, se producen importantes desviaciones. Esta tendencia se puede neutralizar con determinados procesos antes del cromado y con adecuadas colocaciones de las piezas en los baños, o bien con la construcción de diferentes tipos de montajes diseñados precisamente para evitar este problema. Otro factor para tener en cuenta es que las desviaciones se hacen más importantes a medida que aumenta el espesor de la película, por lo que se debe tener especial cuidado con las tolerancias y límites impuestos en la pieza en cuestión.

La función general de curvatura juega un papel fundamental en todas las zonas a tratar, y su influencia resulta más acentuada cuando los radios son menores. Mientras el mencionado radio se aleja de cero, la función producirá un acrecentamiento del espesor de revestimiento en las zonas convexas, y a la inversa, disminución de este último en las cóncavas [1].

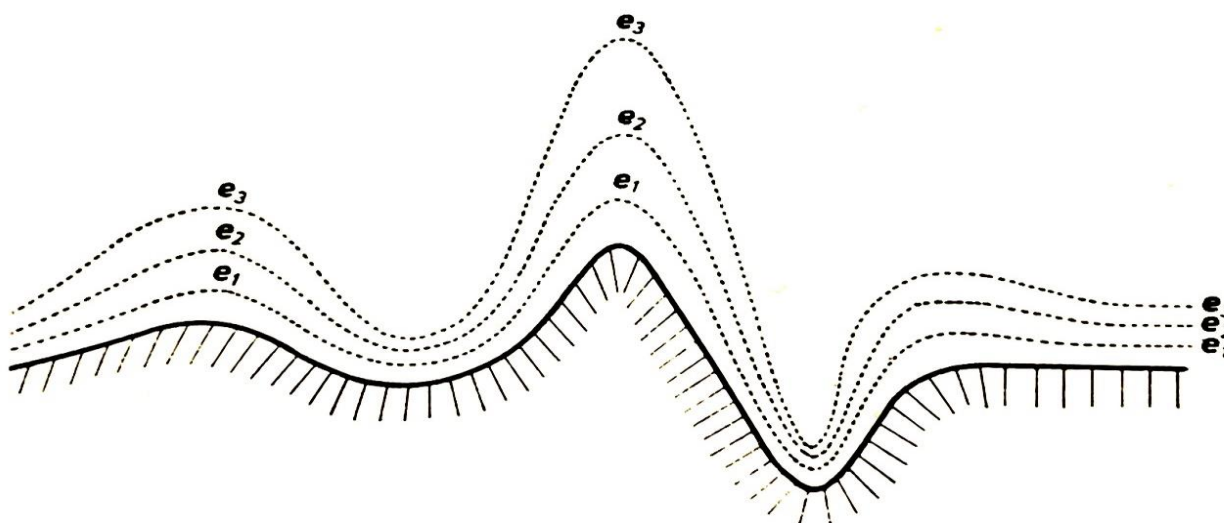
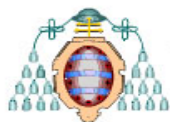


Figura 6. Fenómeno general de la curvatura del cromo [1].



En la figura anterior se puede observar, de forma exagerada, el comportamiento de tres espesores, e_1 , e_2 y e_3 , normales e iguales entre sí, bajo una superficie afectada por diversas convexidades y concavidades de diferentes radios de curvatura.

5.2. INFLUENCIA DE LA FORMA GEOMÉTRICA DE LA SUPERFICIE

A continuación, se dan ejemplos de cómo puede afectar el fenómeno de curvatura del cromo sobre los diferentes tipos de superficies más comunes dadas en este tipo de proceso:

- *Aristas en escuadra, redondeadas sensiblemente*: El perfil ofrecido por el revestimiento en este caso es el representado en la figura 7. En este caso, se forma un abultamiento, en ocasiones un tanto globular, provocado por la existencia de un pequeño radio de curvatura a lo largo de la “arista”.
- *Aristas muy obtusas*: La figura 8 muestra el caso de una verdadera arista, puesto que el radio de curvatura es nulo, la superficie en cuestión, al ser casi plana, sólo produce un ligero incremento del espesor, sin rebordes salientes exagerados ni globulares. Cuanto más obtuso sea el ángulo formado por las dos caras adyacentes, más se incrementa la elevación del revestimiento a lo largo de la arista.

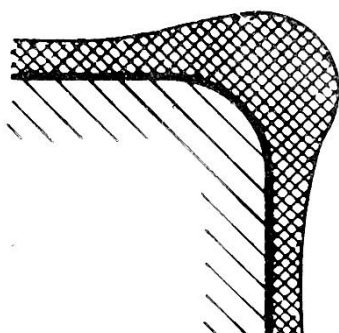


Figura 8. Cromado en arista de escuadra redondeada [1].



Figura 7. Cromado en arista obtusa [1].

- *Ángulos entrantes*: A medida que el ángulo es menos obtuso, ocurre todo lo contrario a los casos anteriores, la capa de espesor disminuye en su fondo, como indican las figuras 9 y 10.

En el caso de tener un ángulo recto, el espesor puede alcanzar valores muy pequeños, incluso pudiendo llegar a anularse, en donde, según la anodización el

revestimiento podrá penetrar más o menos hasta el fondo, representado en la figura 11.

Finalmente, en el caso de un ángulo francamente agudo, se debe contar con que el cromo no alcanzará la zona más profunda, como se puede ver en la figura 12.

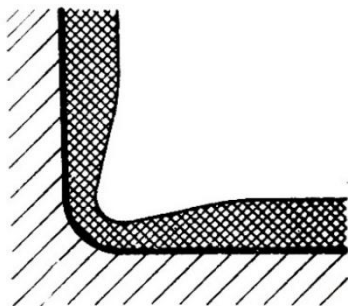


Figura 10. Cromado en ángulo entrante I [1].

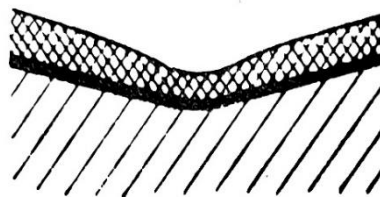


Figura 9. Cromado en ángulo entrante II [1].

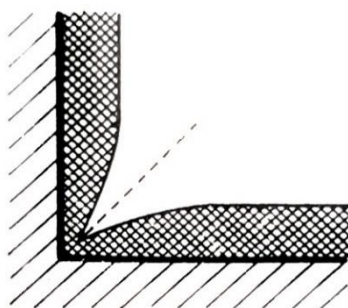


Figura 12. Cromado en ángulo entrante acusado I [1].

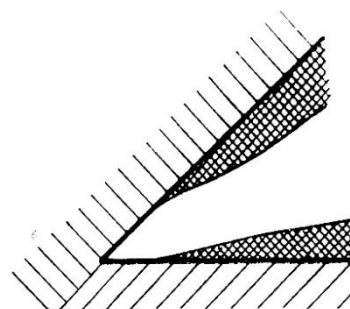


Figura 11. Cromado en ángulo entrante acusado II [1].

- *Cavidades profundas sin salida:* En la figura 13 se observa la imposibilidad de la penetración del revestimiento para alcanzar el fondo. Cualquier dispositivo de anodización empleado, a medida que produzca un aumento de espesor, acabará por obstruir el orificio.

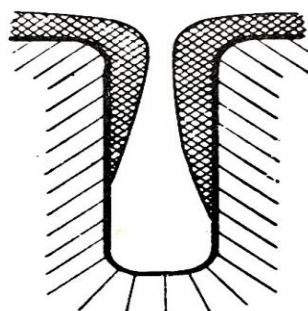


Figura 13. Cromado en cavidad profunda [1].

- *Superficies planas*: Sobre superficies tales como cilindros o conos, bien sean interiores o exteriores, el cromado da lugar a dos tipos de fenómenos: por una parte, en torno a la sección longitudinal, se producen abombamientos del revestimiento en ambos extremos, dando lugar a una característica forma de “hueso”, y por otra parte, en torno a sección transversal en caso de no realizar una separación regular y uniforme los ánodos, se producirá un cromado con una excentricidad irregular, ambos fenómenos se pueden comprobar en las figuras 14 y 15.

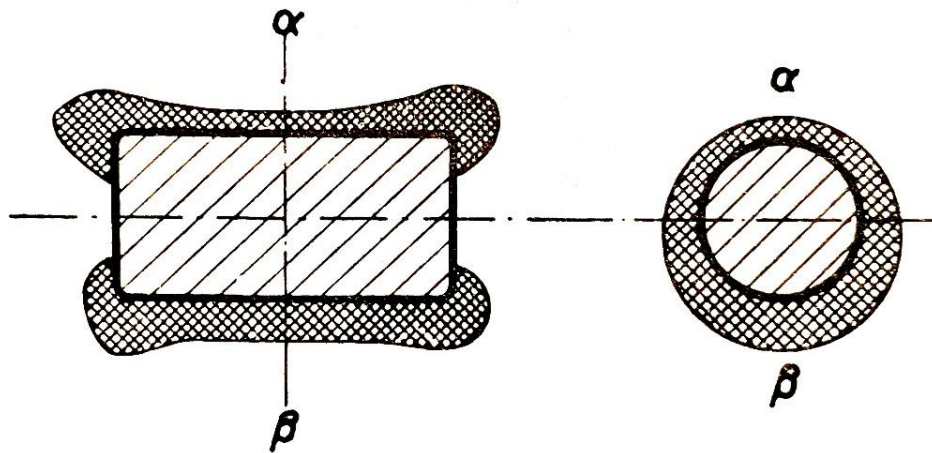


Figura 14. Abombamiento irregular en las secciones de una pieza [1].

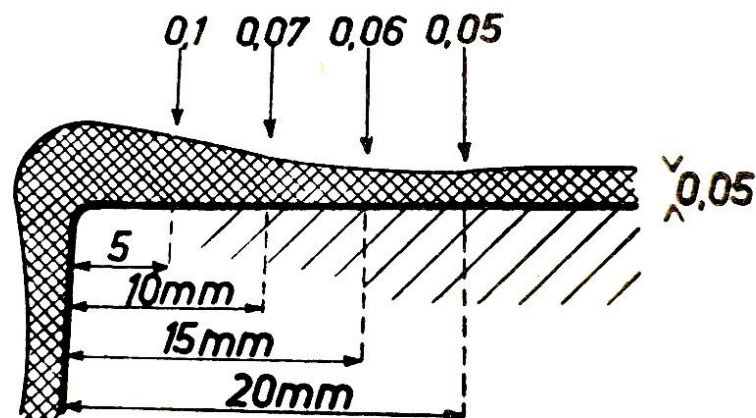


Figura 15. Espesores de cromo (mm) sobre abombamiento [1].

- *Aristas vivas*: Los casos anteriores se han visto para perfiles salientes en los que existe radio de curvatura, en este caso particular, tal radio se anula, es decir, se trata de una verdadera arista viva, en donde la fisionomía del revestimiento cambia por completo.

En lugar de abombamientos, se ve como aparecen desde el comienzo del proceso formaciones con entramados de formas globulares y arborescencias, como las representadas en la figura 16. Estas formas se adhieren de forma muy imperfecta al metal base, se multiplican con gran rapidez y se amplifican de forma considerable a medida que aumenta el depósito, quedando unido por delgados tallos que ceden bajo un simple golpe o raspado.

- *Zonas límite del depósito*: Las zonas recubiertas por barnices celulósicos, ceras cloradas y pinturas especiales no se ven afectadas por la acción electrolítica, pero se debe tener en cuenta que, a lo largo de estos límites, el depósito de cromo da lugar a formaciones granulares netamente salientes uniéndose al metal por “tallos” que, bajo efectos de raspado se eliminan fácilmente. En la figura 17 se puede observar esta granulación originada en los bordes de un barniz protector, representado por el trazo grueso.

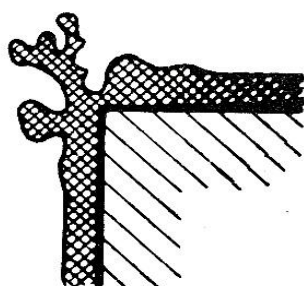


Figura 17. Cromado sobre arista viva [1].

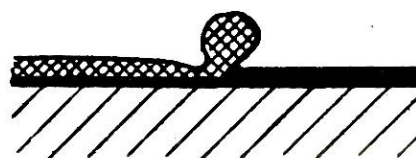


Figura 16. Cromado sobre límite de depósito [1].

5.3. INFLUENCIA DEL ESTADO Y CONTEXTURA SUPERFICIAL DEL REVESTIMIENTO

Las superficies dispuestas a cromar no deben disponer de la presencia de poros, grietas, rayas, manchas, zonas recalentadas, etc., y deben presentar, antes de iniciar el proceso de cromado, un color y aspecto uniforme totalmente libre de óxidos y cualquier tipo de grasas visibles, en caso contrario, teniendo en cuenta estos aspectos se dan los siguientes casos:

- *Heterogeneidades sobre la superficie:* Al realizarse el depósito sobre un metal homogéneo, este adquiere su regularidad, con lo que su calidad siempre se verá beneficiada. En el caso contrario, cuando el metal ha sido viciado en su zona superficial o en su zona subyacente por inclusiones o cuerpos extraños de elementos distintos a sus componentes normales, en general, cada una de estas anomalías da lugar a pequeñas perturbaciones en la constitución del revestimiento, en forma de fisuras, que alcanzan la superficie y aumentan de tamaño a medida que aumenta el espesor. En las figuras 18 y 19 se representan estas fisuras, producidas por heterogeneidades en la superficie de un acero.

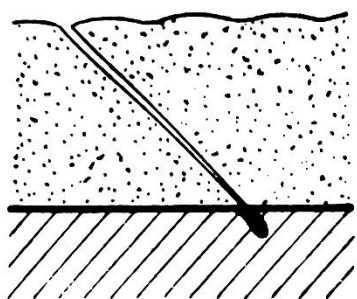


Figura 18. Cromado sobre cuerpo extraño I [1].

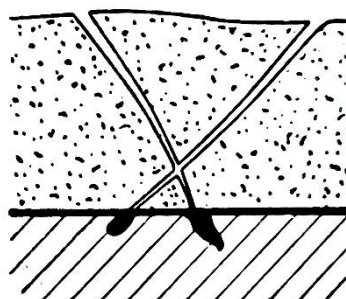


Figura 19. Cromado sobre cuerpo extraño II [1].

- *Fisuras en la periferia de la superficie:* Estas fisuras dan lugar a irregularidades del mismo orden que, lejos de cerrarse, se amplían cada vez más hasta la periferia del revestimiento. Pueden producirse a partir de picaduras, cavidades, y poros, por ello, sobre todo, en el empleo de metales de baja calidad y pese a que a primera vista no disponga de fisuras, un ataque previo al cromado puede producir la aparición de estas irregularidades por socavación, como queda representado en la figura 20.

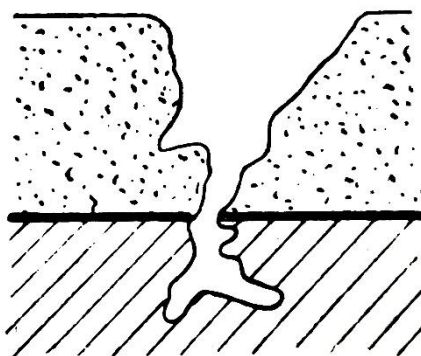


Figura 20. Cromado sobre fisura en la superficie [1].

Otro fenómeno muy común en el cromado duro, que tiene una estrecha relación con el estado de la superficie, es la aparición de pequeños granos o nódulos de cromo, que tienden a formarse en zonas de la pieza en donde existe una mayor densidad de corriente. A medida que avanza el proceso de cromado, estos nódulos aumentan de tamaño, de tal forma que algunos se pueden observar fácilmente durante este periodo de crecimiento; en determinados casos estos sobresalen parcialmente de la superficie, manteniéndose bien adheridos, pero en el caso contrario, los que se han formado totalmente, con aspectos de gota con un ligero estrechamiento en su base, se desprenden con facilidad, pudiendo dejar al descubierto el material base y haciendo inútil a la película de cromo [1].

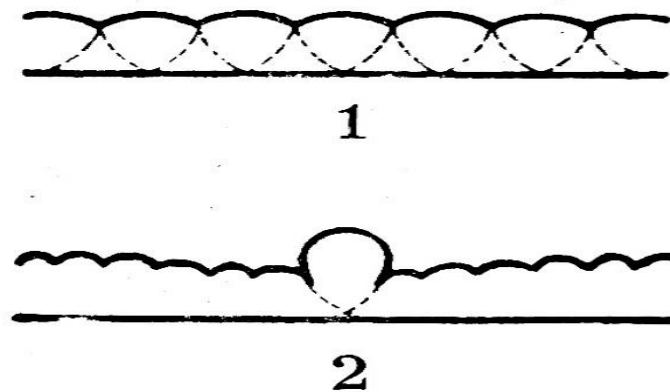
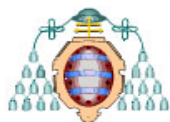


Figura 21. Comparación del cromado normal (1), con el cromado de formación nodular (2), [1].



6. PRÁCTICA DEL CROMADO DURO

Son muchos los metales sobre los cuales se puede depositar una película gruesa de cromo por vía electrolítica, pero en la práctica sólo tiene interés el cromado de hierros, aceros, aluminio y sus aleaciones, y de manera excepcional, del cobre y latón.

Las consideraciones para tener en cuenta que constan de mayor importancia, para determinar la posibilidad y conveniencia del cromado de ciertos tipos de metales o aleaciones, son las de orden técnico-metalúrgico, superando a las electroquímicas. Por esto una gran parte de las siguientes consideraciones van dirigidas principalmente al estudio del comportamiento del material base como consecuencia directa o indirecta del cromado.

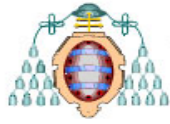
Una vez se obtienen conocimientos sobre el comportamiento de determinados metales durante el proceso, en los siguientes puntos también se establecen los parámetros que deben cumplir tales piezas de forma previa y una vez son introducidas en los baños, y por consiguiente las ventajas y contingencias que se producen en las piezas y baños a partir de las propiedades procedentes de la misma disolución de cromo, todo ello tratado de forma conjunta.

6.1. METALES QUE PUEDEN SER CROMADOS

Antes de realizar conclusiones definitivas sobre el cromado de algún tipo de material, se deben realizar estudios para valorar cada uno de los factores que intervienen en el proceso, por ello el cromado duro requiere de previas aportaciones técnicas no sólo de electroquímica, sino también de carácter técnico metalúrgico, proyectista, verificador, etc.

A continuación, se citan, en cuanto a hierros y aceros se refiere, los tipos y aleaciones más comunes empleados en esta práctica:

- Hierro fundido: en general, la mayoría de las clases de hierro fundido no pueden cromarse, debido a su particular y característica estructura superficial, porosidad y su contenido en grafito. Se puede realizar el cromado en caso de que la fundición sea de grano muy fino, uniforme, sin poros y con una superficie perfectamente pulimentada y con una buena preparación química previa, como es el caso del cromado de cilindros, camisas y segmentos de motores de explosión.
Las partículas de grafito que se encuentran en los hierros fundidos, de forma más o menos abundante, actúan de barrera aislante durante el cromado, dando lugar a dificultades en la continuidad de la película, por lo que, en general, se deben aplicar corrientes de fuertes intensidades durante el inicio del proceso [2].

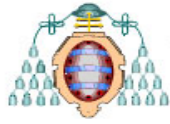


- **Acero fundido:** La mayor parte de los aceros fundidos pueden cromarse con mayor o menor dificultad, en donde el resultado obtenido a partir del cromado depende en mayor medida de la estructura cristalina o grano del material que del contenido en carbono, por lo que, cuanto más fino sea, más fácil será el cromado y se necesitará una menor preparación previa de la superficie.
El cromado del hierro y aceros fundidos que se someten al descromado electrolítico presentan algunas dificultades que por lo general son resueltas con un proceso de decapado químico, como es el caso del desgaseado [2].
- **Fundición gris:** Esta fundición tiene las mismas dificultades de cromado como el hierro fundido corriente, y sus posibilidades dependen en mayor medida del grano y de la superficie. En este caso, cuando este material es sometido al descromado, resulta prácticamente imposible volverlo a cromar sin un nuevo esmerilado o rectificado, pues el decapado no es suficiente [2].
- **Aceros al carbono:** Los aceros con altos o bajos contenidos en carbono no suponen grandes dificultades. Hay que tener en cuenta que muchos de estos aceros tienen superficies nitruradas y cementadas, que permiten la oclusión pequeñas cantidades de residuos procedentes de tratamientos térmicos y que deben de ser disueltos con fuertes decapados [2].
- **Aceros aleados:** durante el proceso de deposición del cromo se debe tener en cuenta las diferencias en las características del cromo electrolítico y estos aceros, entre ellas la baja resiliencia y los menores coeficientes de dilatación en comparación con estos últimos. Lo cual, unido a la existencia de fuertes tensiones internas, originadas por tratamientos térmicos, puede causar una mala adherencia en el depósito. Como solución, se puede someter la pieza antes del cromado y por un espacio de 30 minutos, a temperaturas de unos 200°C, cuya aplicación no afecta de manera apreciable en las propiedades del material [2].

6.1.1. CAMBIOS DE PROPIEDADES EN ACEROS CROMADOS

Una vez realizado el proceso de cromado, algunos aceros presentan una disminución notable de la capacidad de deformación plástica antes de la rotura. Por ello, en piezas que estén sometidas a trabajos con poco margen sobre el límite de rotura, o cuando a los esfuerzos normales se suman esfuerzos de flexión, es conveniente realizar estudios y ensayar la posible repercusión del tratamiento, para conocer el posible límite de esta disminución de deformación.

Este efecto no se produce tan solo en el cromado, puede decirse que, en general, cualquier tipo de acero que se vea sometido a un proceso que dé lugar a un gran desprendimiento



de hidrógeno da lugar a disminuciones en mayor o menor medida de su límite de fatiga [2].

La alteración se ve influida, aparte de por la aleación, tipo y calidad del acero, por los tratamientos mecánicos y térmicos a los que ha sido sometido, estado de la superficie, preparación previa al cromado, etc.

Se ha podido establecer una serie de parámetros que de manera clara influyen en la disminución del límite de fatiga [2]:

- Espesor de la película, influye de forma decisiva cuando al sobrepasar los 0,15mm.
- Forma extraña o complicada de las piezas, en especial aquellas que dispongan de oquedades, cantos vivos, etc. Las inevitables irregularidades del espesor en estas piezas supone más aun el manifiesto de tensiones internas de la película.
- Estado de la superficie, siendo más favorables las superficies totalmente lisas y pulidas.
- Irregularidades en la operación de cromado y particularmente el alejamiento de la relación que debe existir entre temperatura y densidad de corriente.
- En algunos casos, un tratamiento térmico posterior al cromado (desgaseado) llevando el material alrededor de los 200°C durante 2 a 4 horas, restablece parte de los límites de fatiga, aunque es prácticamente imposible que recupere la totalidad de sus características previas al cromado.

En la siguiente tabla se dan los resultados publicados por Gebauer sobre la repercusión del cromado duro en diferentes tipos de aceros:



Tabla 10. Resistencia a la flexión de los aceros cromados (según Gebauer) [2].

N.º	Probetas	Composición (%)	Tratamiento térmico antes del cromado		Carga de ruptura, kg		Modificación de la resistencia (%)
					Sin cromado	Con cromado	
1	Calibres, cuchillas y herramientas de corte	C= 0,9 Mn=1,9 V=0,2	Templado y revenido hasta	220°	1.145	1.160	+ 1,5
2		C=1,45 Cr=1,5 V=0,15		220°	1.370	1.300	- 5
3	Hileras y punzones	C=1,45 W=5,0		180°	1.255	1.290	+ 3
4	Aceros para útiles	C= 0,6 Cr=1,6 W=2,5 Si=0,7		220°	930	900	- 3
5	Troqueles y herramientas para trabajar en caliente	C= 0,25 W=3,5 Mo=0,3	Bonificado a 150 a 1,65 kg/mm ²		1.705	1.650	- 7
6	Acero cementado	C= 0,18 Cr=1,2 Mo=0,25	Cementado a 1mm de profundidad y revenido		1.750	1.610	- 8
7	Acero de construcción	C=0,65	Templado y revenido hasta	180°	1.432	950	- 34
8	Acero para herramientas no aleado	C=1,1		220°	1.980	1.160	- 40
9	Acero rápido	C= 0,75 Cr=4,2 W=11 V=1,2 Mo=1,0		220°	1.770	1.120	- 37
10	Acero rápido	C= 1,3 Cr=4,5 W=12 V=4,25 Co=5		220°	1.700	1.040	- 42

6.2. CONSIDERACIONES PREVIAS AL CROMADO

Antes de iniciar el proceso de cromado duro, es crucial tener en cuenta varias consideraciones previas y aspectos fundamentales que deben cumplir las piezas antes de su introducción en los baños de cromado, con el objetivo de asegurar que el cromado se realice de manera eficiente, garantizando una buena calidad y evitando de tal forma errores o irregularidades en la práctica dando lugar a posibles pérdidas económicas.



6.2.1. DUREZA DE LA SUPERFICIE A TRATAR

Para conseguir una buena deposición de una película de cromo, que sea apta para resistir los efectos de corrosión y esfuerzos de rozamiento y desgaste, es imprescindible que la superficie a tratar reúna determinadas condiciones, incluyendo mecánicas y químicas.

En general, se puede decir que la adherencia del cromo supone una mayor complicación cuanto mayor es la dureza de la superficie cromada. Así mismo las condiciones de adherencia serán mejores en superficies de durezas Rockwell 40 C que en otra que se alcancen los Rockwell 50 C. En los casos que se den durezas mayores de Rockwell 60 C ya no es recomendable su cromado, y en todo caso es necesario un revenido previo a 200°C, durante unos 30 minutos como mínimo [2].

Tabla 11. Durezas recomendadas para diferentes tipos de acero [2].

Pieza		Dureza Rockwell C
Calibres y matrices		50-60
		50
Hileras	Interiores	60
	Exteriores	45
Moldes para plásticos		55-60
Herramientas de corte		60
Rozamiento por deslizamiento		<62
Ejes para bombas		55
Cilindros	Presión moderada	55
	Presión fuerte	62

6.2.2. ACABADO DE LAS SUPERFICIES ANTES DEL CROMADO

De todas las consideraciones citadas hasta el momento sobre el estado de las superficies a cromar, se llega a la conclusión de que es importante, y en muchos casos decisivo, no considerar suficientemente acabadas las superficies de las piezas procedentes del torno o rectificadora; por lo que en ocasiones es recomendable el empleo de otros tratamientos

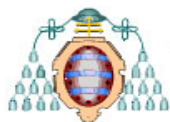


para alcanzar finuras que no se pueden obtener mediante herramientas de corte o muelas, siendo recomendable rugosidades no superiores a 1 micra.

Para conseguir una mayor precisión se requiere el uso de aparatos especializados, como pueden ser los rugosímetros, que permiten la medición de parámetros como la rugosidad aritmética (media), valor establecido como Ra. En la siguiente tabla se puede observar la clasificación de los tipos de rugosidades, en micras y en micropulgadas, cuyos valores son también empleados en procesos de acabado posteriores al cromado.

Tabla 12. Comparación de rugosidades y sus diferentes aplicaciones [6].

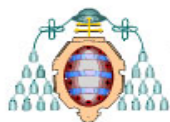
Valor rugosidad media (Ra)		Clase de rugosidad	Propiedades y aplicaciones
Micras	Micropulgadas		
0,025	1	1	Acabado de superficie con el mejor pulido o superacabado. Es muy refinado, por lo que se usa para patrones muy finos y sensibles.
0,05	2	2	
0,1	4	4	Superficie refinada obtenida mediante lapeado o pulido, usado por los fabricantes cuando existen requisitos de diseño obligatorios.
0,2	8	8	Acabado superficial fino y de alta calidad mediante lapeado, pulido o bruñido.
0,4	16	16	Superficies de alta calidad producidas por pulidos con esmeril, lapeado o bruñido basto. Grandes opciones donde la suavidad es de gran importancia.
0,8	32	32	Acabado producido por una máquina de alta calidad con un control preciso. Relativamente fácil de obtener con rectificadoras cilíndricas.
1,6	63	63	Buena rugosidad/acabado de máquina bajo condiciones controladas de producción.
3,2	125	125	Superficie algo rugosa, común en piezas sujetas a vibraciones, cargas y esfuerzos elevados



6,3	250	250	Acabado resultado de rectificadoras superficiales, rectificadoras de disco, fresado, taladrado, etc. Destinados a superficies con requisitos de tensión.
12,5	500	500	Superficies ásperas producidas por avances gruesos y cortes pesados procedentes de torneados, fresado, etc.
25	1000	1000	Superficies ásperas de baja calidad resultantes de cortes producidos por sierras o forjas ásperas. Destinadas a áreas de juego sin mecanizar.

Los métodos de acabado más comunes en la práctica del cromado duro son:

- *Superacabado*: Una forma práctica de pulir, aunque no perfecta, puede conseguirse en las mismas máquinas de rectificado, llevadas a velocidades altas y sustituyendo las muelas por discos de tela dura, fieltro o cepillos de fibra vegetal y pasta de óxido de aluminio, o también mediante máquinas de pulir adecuadas. Aun así, el sistema más práctico que consigue mayor efectividad es el superacabado y hasta cierto punto el lapeado.
El superacabado, consiste en someter la superficie rectificada a la acción de un abrasivo fijo aplicado con un movimiento oscilatorio axial que elimina pequeñas cantidades de material. A diferencia de los mecanismos de abrasión convencionales, este no genera calor significativo debido a sus bajas profundidades de corte y elimina la capa dañada térmicamente después del rectificado.
- *Arenado en húmedo*: Este sistema de acabado consiste en una operación similar al chorreado de arena, pero que utiliza abrasivos especiales en granos de muy pequeñas dimensiones, y en suspensión en una solución acuosa mezclada con humectantes, antioxidantes o desengrasantes.
Con unos 10 minutos de tratamiento, el chorreado deja la superficie lisa, homogénea, pulida y en condiciones óptimas para el cromado.
- *Pulido electrolítico*: se trata en el apartado “Preparación química de las superficies”.



6.2.3. PREPARACIÓN QUÍMICA

Desde el punto de vista mecánico, la pieza una vez es considerada apta para el cromado, debe ser sometida a los tratamientos necesarios para eliminar de su superficie cualquier traza de óxido, pasivación o cuerpos extraños que puedan impedir o dificultar la adherencia de la película. Estos tratamientos pueden ser de orden químico, por inmersión en soluciones adecuadas, o de orden electroquímico, aplicándolos bajo corriente en un baño electrolítico.

Sin embargo, es imposible señalar un ciclo de preparación que sea apto y conveniente para todos los casos, ya que son muchos y muy diferentes los factores que intervienen en estos procesos, y por ello cada circunstancia se debe considerar de manera particular. Naturalmente se puede clasificar la mayor parte de procesos de cromado en varios grupos, en los que se puede prever un sistema más conveniente de preparación química, pero, aun así, existen casos en los que se debe cambiar la aplicación, incluso perteneciendo al mismo grupo. Entre estos procesos se incluye:

- *Desengrase*: Este proceso no sólo tiene por objeto la obtención de una buena adherencia de la película, lo que aún con piezas mal desengrasadas se lograría en el cromado duro, sino también evitar la impurificación del baño, y así alargar su vida. Como se acaba de citar, el ácido crómico destruye las grasas que suelen llevar las piezas, lo que conlleva a una reducción del CrO_3 a Cr_2O_3 , considerado como un elemento perturbador y que, al sobrepasar ciertos límites, obliga a la reposición total del baño o a procesos de reoxidación costosos.

El desengrase de las piezas que provienen de mecanización debe llevarse a cabo limpiándolas primero con tricloroetileno caliente, eliminando excesos de grasa, virutas, residuos, etc. A continuación, se montan las piezas en sus montajes definitivos, en donde permanecerán durante todo el proceso y hasta el último enjuague después del cromado.

Por regla general, el desengrase es de tipo eléctrico, catódico, trabajando alrededor de 52-55°C, bajo tensiones de 4-6 voltios y a una densidad de corriente de 3-8 A/dm^2 . La composición del baño no debe atacar ni afectar en absoluto la superficie tratada, generalmente, la base de estas composiciones son: fosfato trisódico, sosa cáustica, cianuro sódico, carbonato sódico, metasilicato y agentes humectantes.

El paso de la corriente da lugar a la formación de álcali en el cátodo, que saponifica las grasas, y a un desprendimiento de hidrógeno que junto a las grasas no saponificables forma una emulsión, que es separada en la superficie, por la misma ascensión del hidrógeno resultante, mediante el empleo de canales.

Una fórmula ejemplo utilizada para el acero es la siguiente [2]:

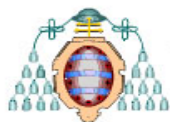


Tabla 13. Fórmula para el desengrase de aceros [2].

Carbonato de sosa (Na_2CO_3)	40 g/l
Fosfato trisódico (Na_3PO_4)	20 g/l
Sosa cáustica ($NaOH$)	12 g/l
Voltaje	6 voltios
A/dm^2	3-5
Temperatura	60°C
Tiempo bajo corriente catódica	1-2 minutos
Seguidamente, tiempo bajo corriente anódica	15-30 segundos

De los siguientes tratamientos el desengrase es el único que, en cualquiera de sus variantes, se aplica en todos los casos.

En algunos aceros, el desengrase puede dar lugar, por composición inadecuada del baño, a la formación de una capa oscura, o de manchas que podrían alterar el aspecto y características de la película de cromo. Entonces es necesario modificar la composición del baño reduciendo el contenido en sosa.

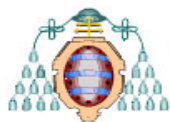
Los aceros y hierros fundidos deben desengrasarse muchas veces sólo químicamente, es decir, sin corriente y en caliente, para evitar alteraciones superficiales que afecten al cromado.

En el cromado de latón, cobre, aluminio, zinc, etc., el desengrase se lleva a cabo en baños distintos y de condiciones adecuadas, pues los tipos de desengrase empleados para el hierro y los aceros no requieren las mismas necesidades.

En caso de que el desengrase haya producido por alguna causa alguna ligera alteración de la superficie, esta deberá decaparse con alguno de los métodos descritos a continuación, o pasando las piezas por una solución de partes iguales de ácido clorhídrico y agua.

- *Decapado*: tiene como objetivo disolver cualquier película de óxido que pueda dificultar y poner en riesgo la adherencia de cromo o que pueda influir en su formación. Es un proceso muy similar al ataque anódico, en donde la diferencia radica en que en este proceso se eliminan óxidos, mientras que en el ataque anódico se ataca al mismo material, que ya debe estar completamente al desnudo [2].

Debe aplicarse en los casos en que el estado de la superficie ponga de manifiesto la necesidad de este proceso, o en los casos en los que, sin existir óxidos visibles, sea totalmente necesario la puesta al desnudo del material base, como ocurre en



el hierro fundido. Por el contrario, el decapado puede resultar perjudicial en los aceros estampados o mecanizados más comunes, cuya superficie, tiene un aspecto uniforme y brillante.

No es necesario el decapado de zonas oxidadas que no necesiten cromarse, por lo que deben ser aisladas con plásticos o barnices. Por el contrario, resulta imprescindible en las superficies descromadas y en todas aquellas que han sido sometidas a intensos a grandes esfuerzos mecánicos con recalentamientos.

Para el decapado electrolítico son utilizadas soluciones de ácido sulfúrico, ácido oxálico, ácido clorhídrico o ácido crómico. Este último es el más recomendable, pero también es el más costoso, debido a una de sus grandes ventajas en que las posibles y pequeñas retenciones de restos del baño de decapado prácticamente no resultarían perjudiciales para los baños de cromo; suceso que sí supondría pequeñas contaminaciones, en caso del uso de ácidos extraños.

Después del decapado, las piezas deben verse sometidas a abundantes enjuagues, y a continuación son llevadas a los procesos de pulido electrolítico, o al ataque anódico, y, de no existir ninguno de estos tratamientos, es totalmente necesario enjuagarlos con agua caliente, con el objetivo de que el material tome la temperatura del baño de cromo si debe pasar inmediatamente al cromado.

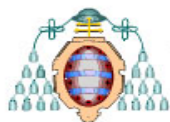
Cuando las piezas son decapadas antes de ser cromadas, es conveniente que el tiempo de transcurso entre ambos tratamientos sea el más corto posible, ya que, después del decapado, la superficie tiende a oxidarse o pasivarse rápidamente.

- *Pulido electrolítico*: Este procedimiento, iniciado en 1929 gracias a los estudios del ingeniero francés Mr. P. A. Jacquet [2], ha sido incorporado como una de las técnicas de preparación complementaria para el cromado de piezas y en muchos casos de operaciones de acabado.

Una de sus primeras ventajas reside en que cuando es aplicado, la acción del baño se concentra sobre las puntas y aristas microscópicas de las irregularidades superficiales, consecuencia de procesos anteriores, como el rectificado.

Se puede decir que el pulido electrolítico tiene un efecto nivelador o cortante, convirtiendo las rayas o asperezas del material en ondulaciones suaves, y por tanto restando importancia a las pequeñísimas fisuras y grietas existentes sobre la superficie de los aceros. También resta importancia a las tensiones creadas por acciones mecánicas o tratamientos térmicos, y no supone acción apreciable sobre los límites de fatiga de los aceros. Además, estos efectos no se limitan a las zonas más asequibles, sino que alcanzan también zonas a las que un disco o una muela no pueden alcanzar [1].

El pulido electrolítico es aplicado con un previo desengrase y decapado, y después de enjuagues, el material es llevado al baño de ataque anódico o al mismo baño de cromado si este posee la cualidad de trabajar con inversión de polaridad. El resto del proceso de cromado es idéntico al de las piezas preparadas mecánicamente.



El pulido no es aconsejable para aceros con altos contenidos en tungsteno, cobalto y otros tipos comunes de fabricación de herramientas de corte.

Su preparación, conversación y mantenimiento requieren un gran nivel de conocimientos, por lo que no resulta prudente lanzarse a la preparación de estos baños sin contar con la técnica o experiencia suficiente para evitar fracasos de alta repercusión sobre el capital.

6.2.4. ATAQUE ANÓDICO

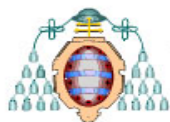
El ataque anódico es sin duda una de las operaciones más importantes en el cromado duro de muchas piezas, consiste en someter la pieza a la acción de un baño, de composición igual o semejante a la del cromo duro, pero aplicando corriente anódica.

La instalación para este proceso es idéntica a la del cromado duro, aplicando temperaturas de $\pm 55^{\circ}\text{C}$, cuyo tiempo de exposición oscila entre los 30 segundos y 2 minutos, y de hasta 10 minutos para interiores; con tensiones descendientes comenzando desde 5-6 voltios, hasta alcanzar 2-3 voltios al finalizar el proceso, en todo momento bajo intensidades que oscilen entre 10 y 30 A/dm^2 .

La finalidad de este ataque consiste en eliminar cualquier tipo de resto de grasa u óxido que conserve aún la pieza, producir un grabado microscópico en la superficie que dé lugar a una adherencia más sencilla de la película de cromo y alisar ligeramente los salientes o extremos de las aristas, bordes cantos vivos, etc. [2]. En todo momento, no se deben llegar a producir efectos visibles, manchas o irregularidades en su aspecto, pues influiría desfavorablemente en el cromado. Debido a esto, los parámetros y sobre todo la duración del ataque anódico pueden variar sensiblemente, puesto que, no todos los materiales se comportan de la misma forma, existiendo algunos que, directamente, no pueden ser sometidos a este tratamiento, como es el caso de los aceros fundidos. En estos casos se produce, aún bajo muy cortas exposiciones, una ligerísima desintegración molecular sobre la que resulta prácticamente imposible la formación de la película de cromo [2], por ello bajo estas condiciones se debe sustituir el ataque anódico por un decapado.

Las piezas que deban obtener una adherencia de cromo extraordinaria, si así lo requiere el espesor de la película o el trabajo al que está sometida la pieza, se puede prolongar el ataque anódico, pero teniendo muy en cuenta su interrupción en el momento en el que este ataque se manifieste de manera visible por alteraciones de la superficie o desgaste excesivo de los bordes o aristas.

El ataque anódico puede realizarse en la misma cuba del cromado, invirtiendo la polaridad, dando lugar a ventajas económicas y prácticas, pero con una desventaja que consiste en la impurificación de los baños con hierro en mayor o menor medida según la duración del ataque y del tipo de hierro o acero.



Las piezas pueden pasar directamente al baño de cromado duro, sin enjuague cuando la composición de los baños es idéntica o similar, y con previo enjuague en los otros casos. En caso de realizar enjuague, debe hacerse a una temperatura superior a la del cromado duro, alrededor de 60°C, con el fin que la pieza entre en los baños como mínimo a la temperatura de trabajo de este último.

6.3. ORGANIZACIÓN DE LAS PIEZAS DURANTE EL CROMADO

La colocación y suspensión de las piezas en el baño para un correcto cromado supone uno de los problemas más arduos que deben resolver los técnicos.

Dependiendo de la forma de trabajar en cada taller, existen muchas formas y métodos de realizar este proceso, hay casos en los que montan las piezas después del desengrase por tricloriteno, o bien después del decapado o pulido electrolítico; también hay muchos en los que una vez la pieza finaliza el proceso de rectificado, es destinada directamente a los montajes, donde una vez montada, proceden con los demás procesos previos al cromado.

Cada pieza contiene innumerables formas, condiciones, diseños, etc., para los cuales no se dispone de una solución única, sino que se tienden a seguir orientaciones de carácter muy general, como pueden ser:

- Los montajes, una vez van a ser introducidos a los baños, deben estar totalmente asegurados y fijos, también deben disponer de ganchos que permitan una muy buena sujeción sobre la armadura de conducción, en caso contrario se pueden llegar a producir descuelgues del montaje o de la misma pieza en el interior de la cuba, dando lugar a posibles daños en la cuba y sus alrededores y a un necesario drenaje del baño para la extracción de la pieza, suponiendo grandes pérdidas de tiempo y de capital.
- Los montajes deben disponer de materiales conductores que permitan el correcto paso de corriente desde la armadura de conducción a la pieza en cuestión. El metal que desde el punto de vista eléctrico supone las mejores condiciones es el cobre, por ello, en muchos casos la mejor opción se basa en realizar un montaje con sujeciones de este tipo, unidos fuertemente a la pieza mediante la ayuda de tuercas y tornillos, siempre teniendo en cuenta el respectivo volumen de la pieza.
- Se debe realizar una previa limpieza del material conductor, de los elementos conectores con la pieza, y de la armadura, con el fin de que la pieza en cuestión sea alcanzada por las tensiones dadas por el técnico, y evitar así pérdidas, y con ello errores en el proceso de cromado.
- El desprendimiento gaseoso es uno de los factores para tener en cuenta más importantes durante el proceso, debido a que una ausencia de este durante la puesta en marcha señalaría directamente una falla en el circuito. También resulta necesario prever y trazar el camino que conviene hacer seguir a estos gases, para evitar que, durante su recorrido, no se produzcan acumulaciones u

obstaculizaciones en el cromado en alguna parte de la superficie. La inyección de aire mediante los dispositivos de agitación suponen un papel muy importante en estos casos, permitiendo una correcta circulación de los gases y de la renovación de la solución.

- La corriente, en lugar de repartirse uniformemente por toda la pieza, tiende a concentrarse en los bordes, aristas o salientes, que son por lo general las zonas más próximas a los ánodos y por tanto las que requieren menos tensión. Esta tendencia puede contrarrestarse aumentando la separación entre el ánodo y aquella zona en comparación con el resto de la superficie. Esto no siempre puede lograrse, debido a las determinadas formas de algunas piezas o directamente porque supone un incremento de la dificultad a la hora de realizar una buena colocación.
- Como en todos los procesos galvánicos, debe existir cierta separación entre las distintas piezas durante un tratamiento simultáneo, con el fin de evitar que la corriente aplicada a una de ellas pueda llegar a influir en las otras.
- En general, no resulta recomendable cromar simultáneamente piezas de distintos tamaños en la misma cuba, aun así, si las piezas se encuentran colgadas bajo la misma armadura de conducción y bajo la misma tensión de corriente se pueden aplicar elementos que actúan como resistencia, con el fin de poder realizar ligeros cambios en las tensiones dirigidas a cada pieza en cuestión. Pero, en caso de existir una desigualdad muy fuerte en la corriente necesaria para cada pieza, o cuando están muy próximas, se puede llegar a producir un potencial eléctrico dando lugar a que parte de la superficie de tratamiento actúe de ánodo frente a la zona más próxima de la otra pieza.

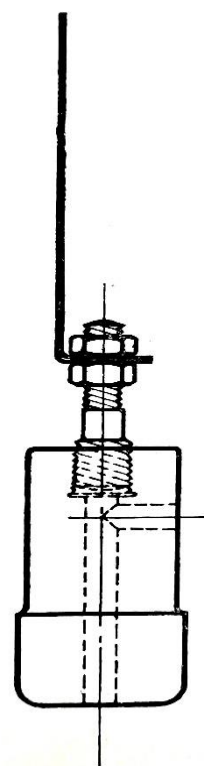
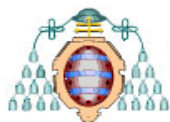


Figura 22. Sujeción rígida de una pieza para su cromado [2].

6.4. PROTECCIÓN DE SUPERFICIES

Todas aquellas partes metálicas o zonas de una pieza, ganchos, soportes, etc., que han de sumergirse en el baño y permanecer bajo la acción de la corriente y de diferentes soluciones, pero que no deben cromarse, resulta totalmente necesario aislarlas y protegerlas, con el fin de no sólo evitar su inútil cromado, sino también de conseguir que



toda la corriente sea aplicada exclusivamente en la zona prevista y útil de la superficie de la pieza.

Para el aislamiento de las superficies se pueden emplear diversos tipos de materiales, y en cada caso se debe escoger aquel que cumpla con las condiciones desde el punto de vista técnico, práctico y económico.

Los productos de aislamiento, aparte de resistir la acción del cromo deben resistir también los procesos de desengrase, decapado, ataque anódico, etc., debido a que siempre resulta más seguro y práctico aplicar estos métodos una vez montada la pieza en el soporte y previo al ciclo completo de operaciones, en lugar de hacerlo justo antes del cromado.

A continuación, se detallan los principales productos más empleados con sus correspondientes características y formas de aplicación:

- *Barnices:* Desde los comienzos del cromado duro, se emplearon barnices especiales, conocidos como celulósicos, resistentes al ácido crómico en caliente. Estos pueden estar constituidos por diferentes densidades, y cuanto más gruesa resulte la película más alta es la resistencia a la perforación, aunque también aumenta el riesgo de desprendimiento, por ello es requerido establecer un nivel intermedio de barniz, que permita el cumplimiento de estos objetivos.

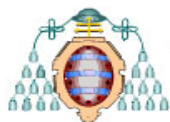
El mejor método de aplicación es directamente mediante pinceles o brochas, en donde, generalmente se aplican de 2 a 3 capas de barniz.

Supone una gran importancia comprobar que en la superficie destinada al cromado no quede ni el mínimo resto de barniz, de lo contrario sería necesario repetir el cromado, aun así, estos barnices son colorados con pigmentos de tonos vivos, como el rojo o azul, que permiten una mejor visualización de estos restos. Durante el empleo de barnices, un método muy habitual es el uso de calefactores o estufas, permitiendo así un secado más rápido y con ello una aceleración considerable en la realización del proceso.

- *Plásticos:* Son muy habituales y eficaces el empleo de plásticos y termoplásticos en la protección y aislamiento de superficies tratadas en cromo. Algunos de estos productos, constituidos principalmente de cloruro de polivinilo, se suministran en forma de líquido viscoso, semejante a un barniz más espeso, pero su aplicación es muy delicada, costosa, y su secado requiere el uso de estufas.

Otro plástico sólido utilizado es el polietileno, que puede aplicarse fundiéndolo con pistola o directamente sobre superficies previamente decapadas y calentadas alrededor de los 150°C. Este comienza a ablandarse a partir de los 80°C, no es quebradiza y puede obtenerse fácilmente el espesor deseado, pero debido a su forma de aplicación este procedimiento es reservado mayoritariamente para protecciones de ganchos, soportes, ánodos especiales, etc., y no para superficies destinadas a cromar.

También es muy utilizado el empleo de láminas de plástico común con buena resistencia, aplicadas directamente desde el rollo o tambor, estas permiten una



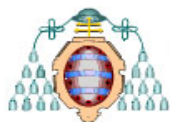
protección rápida y sencilla de las zonas no deseadas para cromar. Este método puede suponer algunos inconvenientes en caso de no conocer a la perfección las temperaturas de fundición de estos plásticos.

- *Cloruro de polivinilo (P.V.C)*: Este material en su forma semirrígida resulta idóneo para la fabricación de planchas, cintas, barras y tubos que permiten una gran protección de las superficies ante la acción del ácido crómico. Además de su gran resistencia, si se calienta alrededor de los 90°C, su flexibilidad permite una gran capacidad de adaptación a superficies curvas y a zonas de difícil protección.
- *Cintas adhesivas*: Son muchos los materiales que permiten una fabricación de cintas de distintos espesores y anchos, la mayoría de ellas, disponen de fuertes adhesivos que permiten mantenerlas fuertemente unidas a la pieza y pegadas entre sí. Es muy común el empleo de cintas adhesivas en combinación con barnices, debido a que una de las mayores desventajas de estos resulta en su difícil extracción; problema que se soluciona fácilmente con el empleo de cintas como primera capa de protección y posteriormente capas de barniz aplicadas como segunda protección. Las cintas con cubierta exterior de plomo son una de las mejores opciones debido a su gran resistencia y maleabilidad, aparte de resultar de muy sencilla extracción, y en numerosos casos permite la recuperación del plomo, pero no de su función adhesiva y protectora.
- *Ceras*: Las ceras minerales y vegetales corrientes no deben aplicarse debido a su bajo punto de fusión, pero existen ceras que son preparadas con base de naftalina clorada, que permite alcanzar puntos de fusión de entre 90°C y 120°C [2]. Generalmente su método de aplicación se realiza sumergiendo todo el conjunto de piezas, soportes y ánodos auxiliares en cera fundida, o vertiéndola, una vez se encuentre en estado líquido. El sistema de inmersión resulta más práctico, pues resulta muy fácil eliminar con cuchillas trozos más o menos grandes de las zonas que se deseen, permitiendo así una fácil recuperación de la cera empleada. Aquí también es necesario, como en el caso del barnizado, tomar precauciones para evitar que queden partículas de cera en la zona a cromar.

6.5. BAÑO DE CROMO

La composición del baño para el proceso de cromado duro fue objeto de numerosas y profundas investigaciones, dando lugar a múltiples teorías, pero, desde hace muchos años, se ha llegado a conclusiones aceptadas por todos los especialistas y que dan lugar a la base de todas las fórmulas necesarias para el baño de cromado duro.

La sal metálica de la que se separa el cromo es conocido óxido de cromo (VI), con fórmula CrO_3 , este es suministrado en forma de escamas, polvo o cristales de color rojo oscuro, y



posee propiedades deliquescentes⁸ al entrar en contacto con el aire, por lo que debe conservarse en bidones de hierro, gres, plástico, etc., perfectamente cerrados. El ácido crómico empleado es resultado de la reacción del agua con el óxido de cromo (VI), en donde la preparación de los baños debe disponer de una riqueza no menor de un 99% cuyo análisis para disponer de una calidad aceptable debe ser aproximadamente [2]:

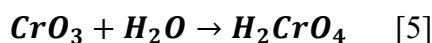


Tabla 14. Riqueza óptima del óxido de cromo [2].

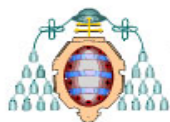
	%
Anhídrido crómico	99,20
Sulfatos	0,15
Cromo trivalente Cr_2O_3	0,15
Hierro	0,03
Insolubles	0,12
Humedad	0,35

En el cromado duro, si se desea obtener deposiciones de cromo rentable, se debe añadir a la solución de ácido crómico y agua destilada uno o varios radicales ácidos, que actúan catalíticamente. Si bien existen discrepancias en el uso del radical, en general la base de estos productos son sulfatos o fluoruros.

El radical o catalizador aplicado a los baños de uso más generalizado es, sin duda, el SO_4 , siendo, además, el más sencillo de controlar.

- *Concentración:* La concentración de ácido crómico puede variar entre 150 y 400 g/l. Existen numerosas teorías a favor de mayores o menores concentraciones, pero, la experiencia demuestra que una concentración de 250 g/l con densidad de 22°Bé [2], es aquella que reúne la mayor cantidad de ventajas, de índole técnicas, prácticas y económicas. Esta concentración permite una mayor penetración y un máximo rendimiento eléctrico, figuras 23 y 24, necesitando de exámenes analíticos frecuentes al ser más sensible a las impurezas. Sin embargo, la concentración de ácido crómico no supone el elemento más importante, sino que en todo momento se mantenga la relación que debe existir entre los contenidos de ácido crómico y el radical SO_4 .

⁸ Dicho de una sustancia que tiene la propiedad de absorber la humedad del aire hasta formar una disolución acuosa.



Cualquiera que sea la concentración adoptada, esta relación debe ser de $\frac{1}{100}$ [3], es decir $\frac{250 \text{ g } CrO_3}{2,5 \text{ g } SO_4}$, pudiéndose considerar en la práctica el SO_4 como H_2SO_4 .

Tabla 15. Concentración y densidad de las soluciones más corrientes en el cromado duro (Referida a 20°C) [2].

Solución de ácido crómico °Bé	Solución de ácido crómico trabajando ⁹ °Bé	Ácido crómico g/l	Peso específico
18	19	200	1,14
20	21	225	1,16
22	22,5	250	1,18
23	24,5	260	1,19
24	26	280	1,20
25	27,5	300	1,21
26	29	316	1,22
27	31	330	1,23
28	32,5	350	1,24
29	33,5	360	1,25
30	34,5	375	1,26
31	35,5	395	1,27
32	36,5	410	1,28
33	38	425	1,29

⁹ Esta columna refleja la densidad que, en la práctica, se halla en los baños de cromo ya funcionando, densidad que difiere de la teórica, correspondiente sólo al contenido de CrO_3

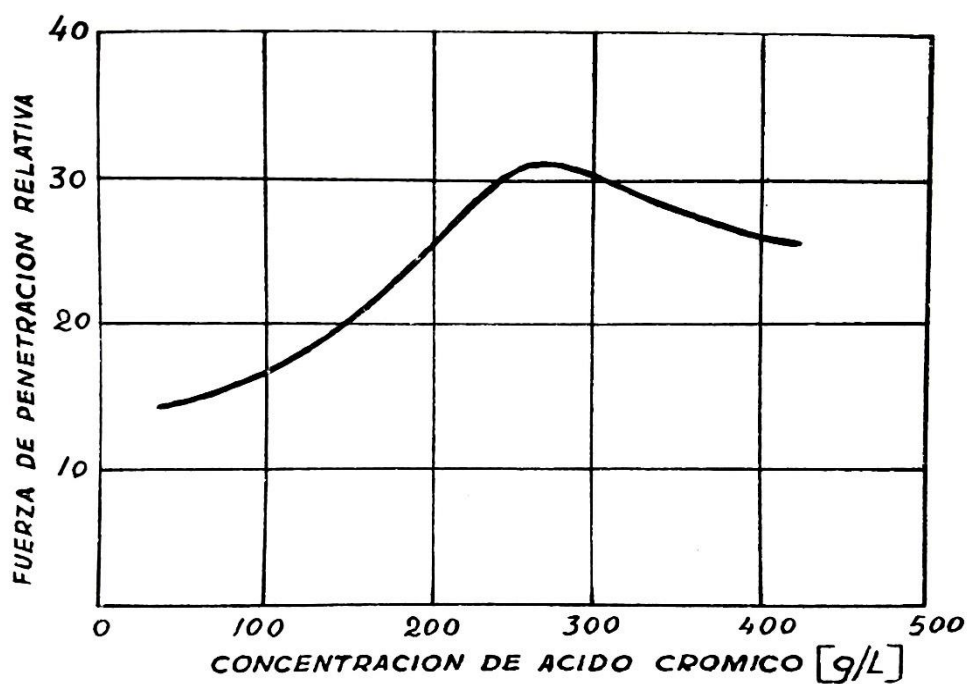


Figura 23. Influencia de la concentración de ácido crómico del baño, sobre la penetración relativa [2].

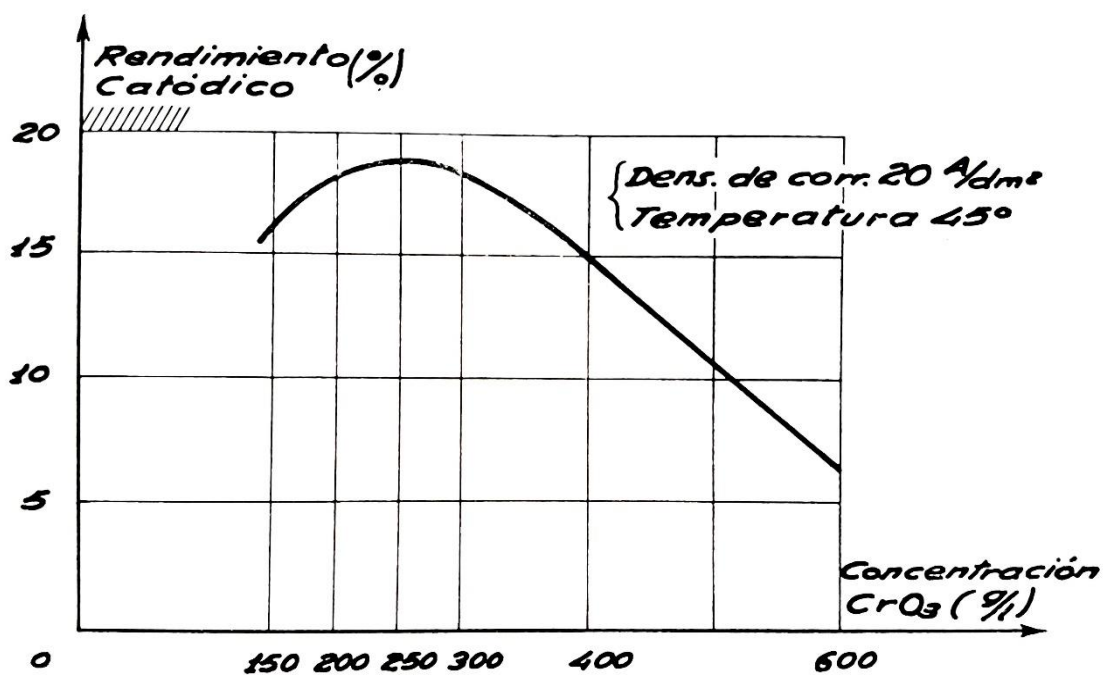


Figura 24. Rendimiento catódico del baño de cromo duro en función de la concentración de CrO_3 [2].

También ha sido demostrado que el mayor rendimiento eléctrico se alcanza con un contenido de 1% en SO_4 [2]. La penetración del baño, es decir, la facilidad de alcanzar con el cromado los rincones de una pieza, se ve totalmente influida por la cantidad de SO_4 , como se puede comprobar en la figura 25, donde se observa que a partir de 3 g/l, la curva cae de forma sensible.

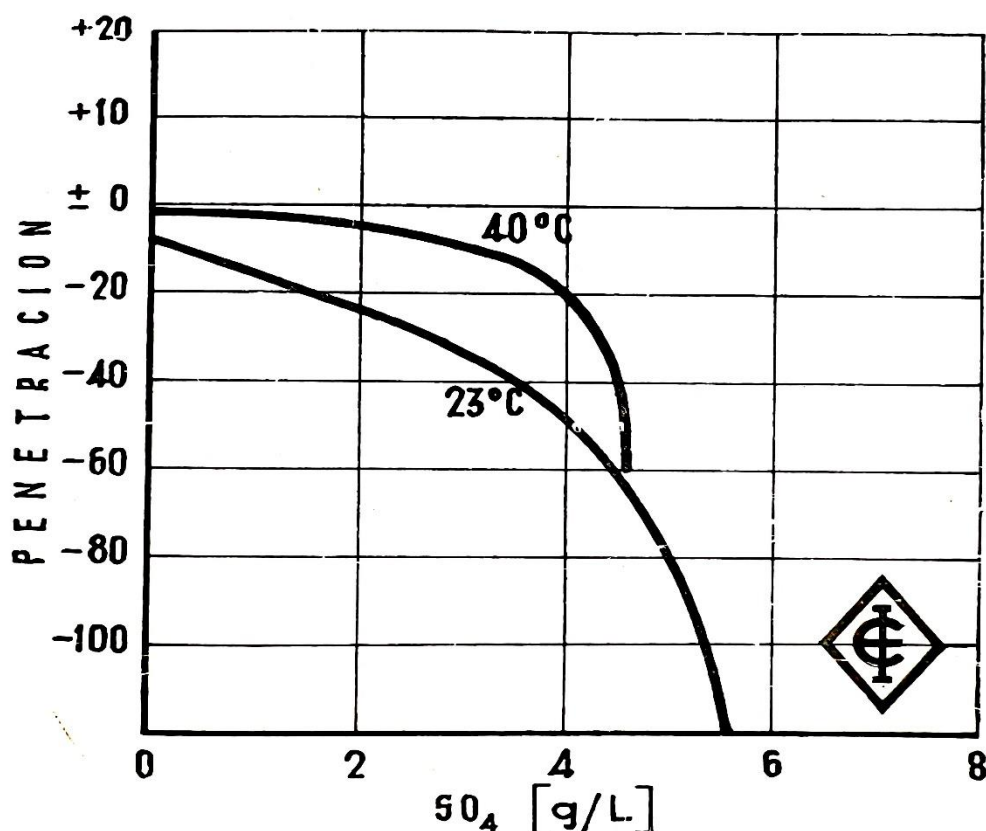
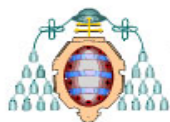


Figura 25. Poder de penetración en función de la concentración de SO_4 y de la temperatura [2].

- **Disolución:** Para la preparación del baño, se disuelve en primer lugar el ácido crómico en agua destilada calentada a 60°C, en todo momento durante la decantación se debe evitar que entren todo tipo de cuerpos extraños que den lugar a contaminaciones en la disolución.

La filtración de las soluciones de CrO_3 tiene cierta complejidad, ya que las partículas insolubles no son eliminadas totalmente por papeles, telas o lana de vidrio. Por ello se recomienda dejar reposar la disolución durante una noche, trasladando sólo el líquido que quede perfectamente claro y transparente, dejando aparte las capas del fondo en el momento que se comienza a observar cierta



turbidez. Esta última capa de residuos se deja reposar nuevamente y al día siguiente se separa otra vez la parte clarificada; repitiendo tal proceso se llega a un residuo de poco volumen que, además puede aprovecharse para otras aplicaciones, como por ejemplo para el baño de ataque anódico. Cuando todo el CrO_3 ha sido disuelto y llevado a la cuba de cromado, que previamente se habrá llenado con 1/3 de su volumen de agua destilada, se efectúa la primera adición de sólo el 75% del ácido sulfúrico estimado, para evitar posibles errores en el pesaje. El ácido sulfúrico debe mezclarse previamente con algunos litros del baño, y repartirlo después por toda la superficie agitando continuamente, debido a su dificultad para difundirse en la masa del líquido. Transcurridas unas horas de la total disolución, se puede efectuar el análisis y comprobar exactamente la cantidad de SO_4 necesario para obtener la relación deseada de $\frac{SO_4}{CrO_3} = \frac{1}{100}$.

6.5.1. MANTENIMIENTO

El baño de cromado duro no presenta las mismas dificultades, en lo que se refiere a su composición, con respecto a muchos otros baños galvánicos, y por ello su comprobación analítica resulta bastante sencilla. Aun así, estos análisis se deben realizar con mayor frecuencia, debido a los estrechos límites en los que se deben mantener la relación de los componentes de CrO_3 y H_2SO_4 .

Por otra parte, se debe evitar aquellas resultantes producidas por inestabilidades o alteraciones en la composición del baño que puedan ser fácilmente determinadas y resueltas, ya que la comprobación analítica se basa en determinar la concentración de CrO_3 y el contenido de H_2SO_4 , y sólo en periodos largos de tiempo resulta interesante la determinación del Cr_2O_3 y del Fe .

Según ensayos, reflejados en la figura 26, al pasar de una concentración de 300 g/l de CrO_3 a 250 g/l la dureza y la resistencia consiguen una mayor capacidad de resistencia ante fenómenos de desgaste [2]. Por ello, si se desea conseguir una dureza uniforme, también resulta conveniente mantener constante la concentración del baño.

La determinación de SO_4 deberá realizarse también después de cualquier adición en grandes cantidades de ácido crómico, y en todo momento en el que se observe alguna irregularidad.

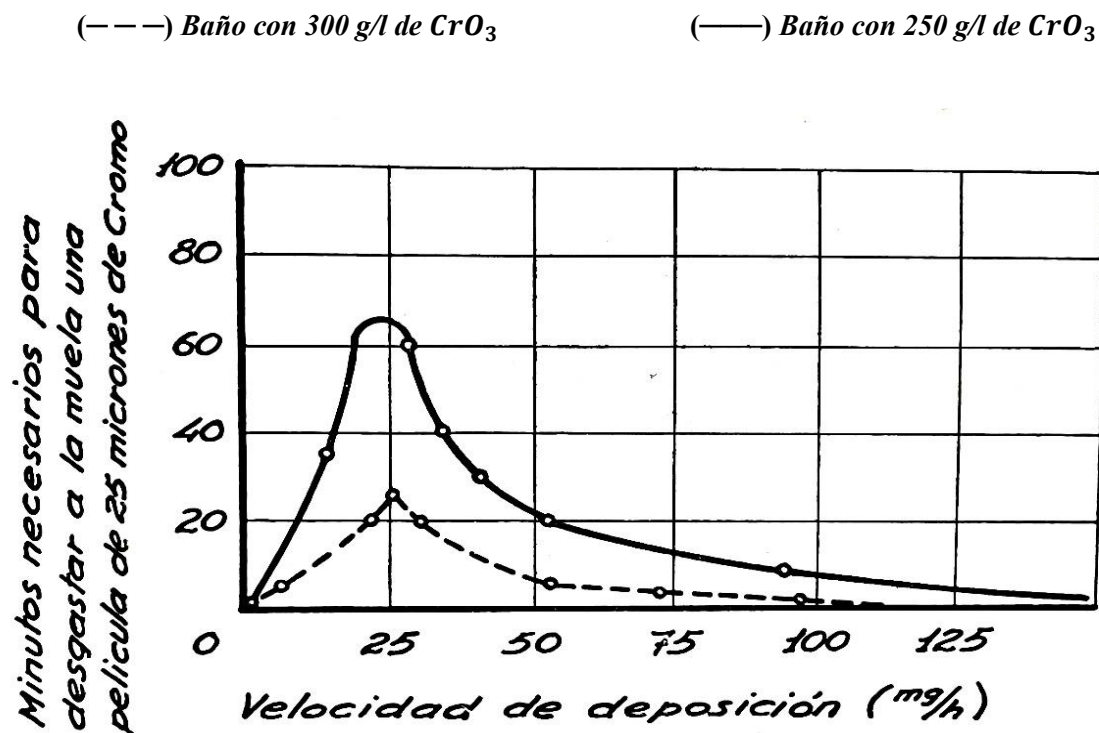


Figura 26. Influencia de la concentración de CrO_3 sobre la dureza de la película depositada [2]..

- *Alimentación:* La disminución de la concentración de ácido crómico es inevitable, esto se ve influenciado por varios factores, entre los cuales los más importantes son:
 - a) Consumo natural. Corresponde al material utilizado en las superficies cromadas y espesores aplicados.
 - b) Aspiración. Determinados ensayos indican que la cantidad de ácido crómico arrastrado por efecto de la aspiración puede oscilar del 30 al 60% de la consumida por deposición.
 - c) Arrastre de piezas al salir del baño. Parte de este ácido crómico puede ser recuperado mediante enjuagues con agua sobre la cuba de cromado, o directamente en las cubas de enjuague o también llamadas de recuperación.

Si se desea conseguir concentraciones normales, se deben realizar pequeñas, pero frecuentes, adiciones de CrO_3 , siguiendo los mismos métodos establecidos para la preparación del baño. La siguiente figura muestra la relación entre la densidad y contenido de CrO_3 .

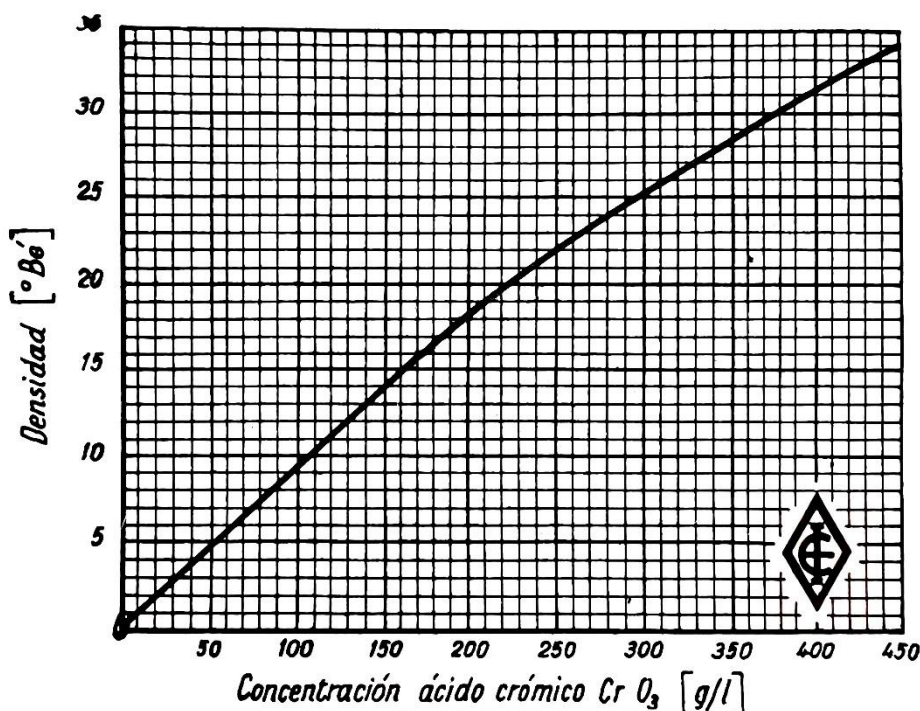
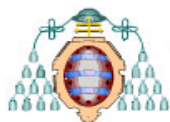
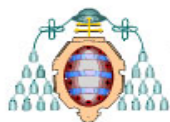


Figura 27. Relación densidad y concentración de ácido crómico [2].

- *Correlación de la relación $\frac{\text{CrO}_3}{\text{SO}_4}$* : Como en el caso del ácido crómico, el contenido de SO_4 también puede variar debido a varios factores, y entre ellos debemos destacar [4]:
 - a) Por alteración en la relación $\frac{\text{CrO}_3}{\text{SO}_4}$. Producido por realizar solamente compensaciones de las pérdidas de volumen del baño con sólo CrO_3 o agua.
 - b) Por empleo de CrO_3 de baja calidad que contenga porcentajes elevados de SO_4 .
 - c) Por aportación al baño de pequeñas partículas de soluciones empleadas en procesos anteriores, muchas de ellas preparadas con altos contenidos en SO_4 .

En la práctica, la razón que más influye de forma decisiva es la primera, en donde se va produciendo poco a poco mayores disminuciones de ácido sulfúrico, que deben compensarse con ligeras adiciones calculadas con mucha precaución. Durante esta práctica es recomendable diluir previamente el ácido en agua o con la disolución del propio baño e ir vertiéndolo poco a poco en toda la superficie sin dejar de remover la solución. Esta difusión del ácido en el baño se realiza con cierta lentitud, por lo que es recomendable realizarlo fuera de la jornada de trabajo.

La cantidad de SO_4 también puede rebajarse o neutralizarse, para ello es necesaria la acción de carbonato o cromato de bario. Mediante el empleo de carbonato de bario, son necesarios 2 gramos por cada gramo de ácido sulfúrico que se desee eliminar [4].



El carbonato de bario es muy poco soluble en agua, por lo que para su adición es necesario añadir muy poco a poco sobre toda la superficie del baño, evitando que la reacción que se produce alcance volúmenes excesivos. Después de cada adición, se debe remover el baño de forma intensa durante cinco minutos, repitiendo la agitación al cabo de una hora, y sólo al cabo de varias horas debe realizarse de nuevo la comprobación y su correspondiente ajuste, si este fuera necesario. La reacción del carbonato de bario al entrar en contacto con el ácido sulfúrico da lugar a sulfato de bario insoluble, que queda precipitado en el fondo de la cuba. Si el precipitado queda en suspensión, estas partículas pueden quedar adheridas a la superficie a cromar, dando lugar a formaciones de nódulos, que darían lugar a un inaprovechable cromado [4].

A continuación, se da un caso práctico de como equilibrar ácido sulfúrico en una concentración:

Se tiene un baño de 500 litros con una concentración estándar de 250 g/l de CrO_3 , pero con una concentración de 3,5 g/l de SO_4 , en donde deben eliminarse 1 g/l, con el fin de cumplir con la relación $\frac{1}{100}$ de ácido crómico y sulfúrico.

La cantidad de SO_4 total:

$$500 \times 3,5 \text{ g} = 1.750 \text{ g}$$

Mientras que el objetivo a conseguir es:

$$500 \times 2,5 \text{ g} = 1.250 \text{ g}$$

Siendo por consiguiente el exceso:

$$1.750 - 1.250 = 500 \text{ g de } \text{SO}_4$$

Si de este baño separamos 145 litros, se obtiene que, con los 355 litros restantes, el total de SO_4 contenido será:

$$355 \times 3,5 \text{ g} = 1.242 \text{ g}$$

Añadiéndole 145 litros de baño nuevo, y exento de SO_4 , se tiene:

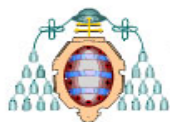
$$145 + 355 = 500 \text{ l con } 1.242 \text{ g de } \text{SO}_4$$

De los 500 l, con una concentración de 250 g/l de CrO_3 se obtiene:

$$500 \text{ l} \times 250 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 125.000 \text{ g de } \text{CrO}_3$$

Cumpliendo así, de forma muy aproximada, con la relación necesaria:

$$\frac{\text{CrO}_3}{\text{SO}_4} = \frac{100}{1} \approx \frac{125.000 \text{ g de } \text{CrO}_3}{1.242 \text{ g de } \text{SO}_4}$$



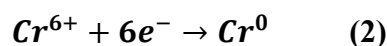
En la práctica, la cantidad de baño separada puede utilizarse para reponer pérdidas en el baño de ataque anódico, o bien, en otro baño de cromado duro, siempre que su concentración de SO_4 lo permita.

La comprobación diaria de registro de observaciones puede dar lugar a que al poco tiempo de trabajo se obtenga una orientación del camino que puede seguir el baño en relación con las variaciones de acidez, permitiendo así, hasta cierto punto, prever, impedir o retrasar posibles alteraciones.

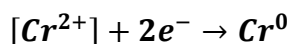
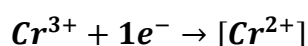
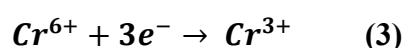
6.5.2. MECANISMO DE ELECTRODISPOSICIÓN DEL CROMO HEXAVALENTE

De entre las diferentes teorías propuestas por diferentes investigadores para explicar el mecanismo de la electrodisposición del cromo a partir de los electrolitos de cromo (VI), existen dos teorías [5]:

- “*Teoría de la reducción directa*”: se postula que la reducción de cromo (VI) a cromo metal se realiza en una sola etapa:

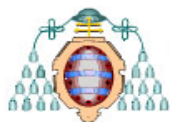


- “*Teoría de la reducción por etapas*”: se postula que la reducción del cromo (VI) a cromo metal se realiza a través de dos etapas intermedias en que aparecen el cromo (III) y el intermediario cromo (II):



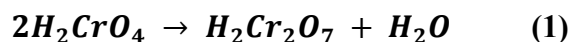
La dificultad de establecer una teoría totalmente cierta radica en los siguientes aspectos:

- La forma de las curvas de polarización (que sirven para interpretar las reacciones de electrodo) para los iones de Cr^{6+} , es bastante compleja comparada con la que se obtiene para otro tipo de iones.
- La estructura de la película catódica de cromato que se forma es muy compleja.
- El mecanismo de aceleración del depósito electrolítico del cromo por iones sulfato u otro catalizador es difícil de especular.
- Los electrolitos (baños) utilizados para la deposición del cromo (VI) son oxidantes y tienden a disolver la película catódica cromática, dificultando el análisis.



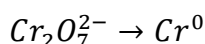
Para lograr tal reducción del cromo (VI) al cromo metal, se requiere gran cantidad de electrones, romper su previo enlace, reducir y adherir el cromo sobre la superficie de la pieza a recubrir. Con el fin de explicar de mejor forma lo anteriormente mencionado, a continuación, se resuelven las ecuaciones de reducción:

La fórmula molecular estable del ácido crómico viene establecida por:

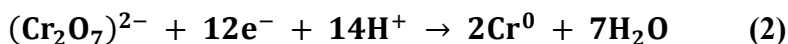


El primer término se refiere al ácido crómico en su estado estable, mientras que el segundo y tercer término representa el mismo ácido, pero expandido para una mejor explicación. A este segundo término si se le introducen 12 electrones se logra romper el enlace de formulación estable y obtener, a partir de la reducción de cromo (VI) el cromo metal (Cr^0). Debe quedar claro que esta reacción tiene lugar sobre la superficie del sustrato que es cargado negativamente y el cromo es adherido a la misma. Esto se puede representar de la siguiente forma:

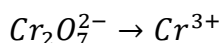
Nota: El cromo (VI) usualmente se encuentra como iones cromato (CrO_4^{2-}) o dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$).



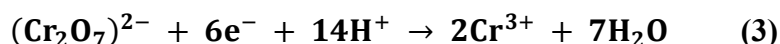
Mediante un balance se obtiene:



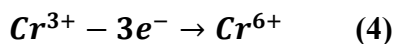
Como bien se ha mencionado antes, no siempre se logra reducir instantáneamente el cromo (VI) con 12 electrones y producir así su adhesión sobre la superficie, sino que se reduce únicamente con 6 electrones y se presenta la formación del ion cromo trivalente (Cr^{3+}); sólido que precipita y no se adhiere al material. Cabe recalcar que, si el cromo trivalente logra alcanzar el nodo positivo, transfiere nuevamente los electrones y conduce a la formación de cromo hexavalente, tal y como se muestra a continuación:

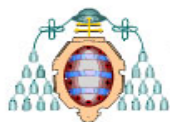


Mediante un balance se obtiene:



Nueva formación de cromo (VI):





Ambos iones de cromo (III) y cromo (VI), son sumamente tóxicos y cancerígenos para la salud humana. Por lo que su manipulación y sus emisiones deben estar sumamente controladas.

También resulta fundamental resaltar que, al reducir el ácido crómico con 12 electrones, del segundo término de la ecuación (1), dos iones de hidrógeno se desprenden, que en combinación con 2 electrones genera gas hidrógeno:



La formación y desprendimiento de átomos de hidrógeno durante el depósito electrolítico puede resultar peligroso, debido a que estos átomos se posicionan entre los enlaces químicos provocando fragilización por hidrógeno. Esto provoca mayor debilidad en la unión de los átomos, causando puntos de baja resistencia y concentradores de tensiones propensas a la fractura [8].

6.5.3. CROMO TRIVALENTE

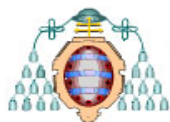
Durante el tiempo de reducción del cromo (VI) a cromo metal, se debe tener en cuenta otro factor importante durante el depósito electrolítico. Este factor es conocido como “envejecimiento” del mismo, es decir la formación de cromo (III)

En realidad, para que se produzca una buena electrodeposición, el baño necesita una pequeña proporción de Cr_2O_3 , la cual se origina casi siempre de forma automática durante los primeros días de trabajo. Algunos autores [8] respaldan que durante la práctica este contenido de Cr_2O_3 puede oscilar entre 2 y 4 g/l .

La cantidad máxima admisible en un baño de cromado duro es de 6 g/l, ya que concentraciones cercanas a los 10 g/l de Cr_2O_3 , aumenta al doble la resistencia normal del baño, que es de 1,5 ohms/cm^3 [2].

Generalmente se mantiene sin grandes variaciones durante el transcurso del tiempo y solamente causas extrañas dan lugar a aumentos nocivos. Entre las principales causas que influyen a esta formación:

- *Relación entre las superficies anódicas y catódicas [2].*
 - a) Cuando la reducción del cromo hexavalente a trivalente que tiene lugar en el cátodo durante el proceso de cromado guarda relación con la oxidación del



cromo trivalente que se produce en el ánodo, no existe aumento apreciable de Cr_2O_3 en el baño. Para llegar a este resultado es necesario que la superficie anódica fuese igual o superior a la del cátodo que, por múltiples razones, esto no resulta posible, especialmente en el cromado de interiores. Esto produce, de manera inevitable que se produzca tal oxidación.

- b) La práctica también demuestra que una de las mayores fuentes de Cr_2O_3 son producidas por oxidación de materias extrañas u orgánicas llevadas de forma accidental al baño; por otra parte, estas resultan las más fáciles de eliminar y prevenir.
- c) El empleo de temperaturas superiores a las necesarias en el cromado normal, favorecen también la concentración de Cr_2O_3 . Este exceso puede ser producido por sistemas de calentamiento irregulares o inadecuados o por trabajar a altas intensidades de corriente en baños de poco volumen.

El cromo trivalente se manifiesta dando lugar a un aspecto oscuro y casi negro a un baño de cromo, en lugar de su color normal rojizo y algo transparente, adquiriendo también una viscosidad perceptible aún por personas no experimentadas.

6.5.4. IMPUREZAS

Las impurezas metálicas, producen, a partir de cierto contenido, influencias perjudiciales en el baño de cromado duro, siendo el hierro la más contaminante y abundante que. Este último resulta imposible eliminarlo totalmente del baño, por ello, cuando este contenido resulta superior a 5 g [4], debe ser total o parcialmente sustituido, pudiendo tener otras aplicaciones en baños de ataque anódico o de porosificación.

La dureza y resistencia al desgaste se ven muy influenciadas por el hierro presente en el baño, disminuyendo considerablemente sus parámetros, como se puede comprobar en la siguiente figura.

(—) Baño con 4,5 g/l de Fe

(---) Baño con 18,0 g/l de Fe

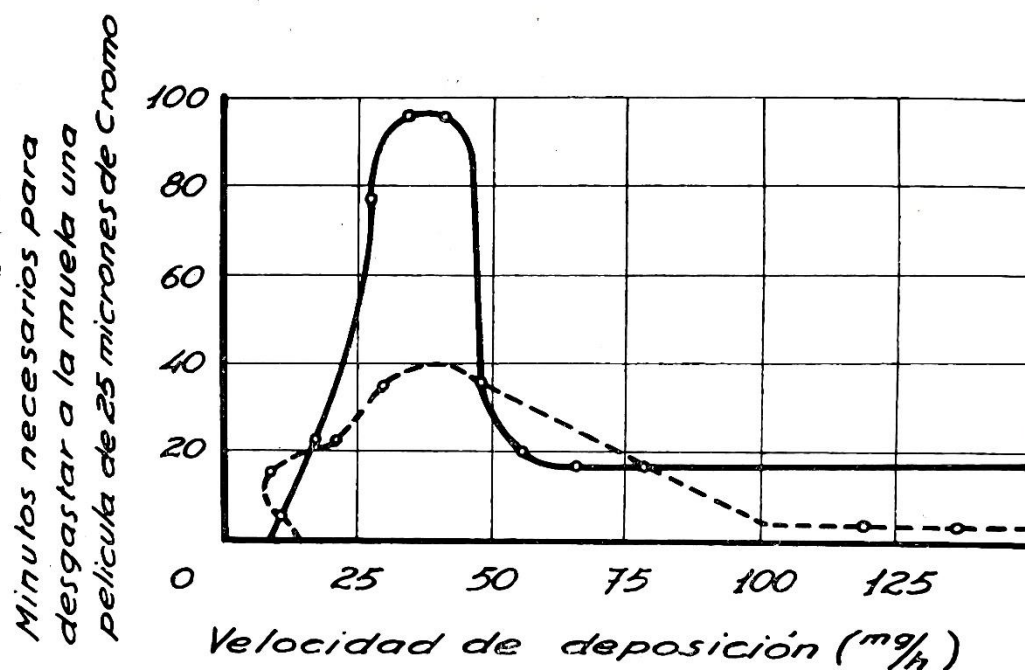
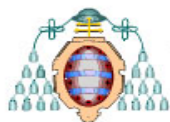


Figura 28. Influencia del contenido en hierro sobre la dureza de la película [2].

La filtración de estas impurezas puede realizarse con porcelana porosa, lana de vidrio o compuestos aluminosos especiales. Sin embargo, la filtración es un proceso lento y solamente necesario en casos especiales, por ello, generalmente es suficiente la decantación del baño para reducir al mínimo el líquido y poder retirar fácilmente las partículas. En la práctica, este proceso se realiza después de meses de trabajo o cuando se ha producido una constante turbidez [2].

La práctica enseña que, cuando la impurificación alcanza valores límites admisibles, es recomendable realizar la sustitución del baño, siendo al final, en la mayoría de los casos más económico. Por ello siempre resulta prudente disponer de un volumen de baño bien conservado, que permita, en un momento dado, una rápida alimentación o sustitución total o parcial del baño.



6.5.5. DESCROMADO

La película de cromo obtenida electrolíticamente se puede disolver en cualquier momento si esta es sometida a procesos de descromado, siendo conveniente ante resultados de cromados defectuosos o como preparación de una superficie cromada y parcialmente desgastada. Este proceso se realiza sometiendo la superficie a la acción de una solución de sosa cáustica en agua al 20 % contenida en una cuba de hierro que puede actuar como cátodo, o bien empleando cátodos de plancha de hierro o de acero inoxidable. Este baño trabaja en frío, aplicando densidades de corriente de, aproximadamente, 8 A/dm^2 , en donde la duración del tratamiento depende del espesor de la capa, se calcula que se necesita una hora para disolver 0,04 milímetros [2].

Se debe evitar en todo momento mantener la pieza en este baño más tiempo del preciso, pues algunos materiales, como la fundición, pueden ser atacados por la acción del baño bajo corriente, que daría lugar a un necesario proceso de pulido con el fin de poner nuevamente al desnudo la estructura del material base.

6.6. CROMADO DURO

En este apartado se examinan los parámetros clave del proceso de cromado duro, estableciendo a su vez la importancia de mantener y realizar los controles precisos a los que debe someterse las piezas tratadas, en relación con la temperatura, corriente, velocidad de deposición, y su posterior desgaseado, en donde estos factores son sumamente importantes para asegurar un recubrimiento uniforme y de alta calidad.

6.6.1. CORRIENTE Y TEMPERATURA

La concentración de CrO_3 y SO_4 , junto a la corriente y temperatura, son las condiciones más importantes para la correcta realización del proceso cromado duro.

La necesaria relación entre la corriente y la temperatura de trabajo se ve reflejada en la figura 29, en donde se puede apreciar de forma aproximada las zonas óptimas y los límites entre los cuales se puede obtener una película de cromo correcta y de dureza normal.

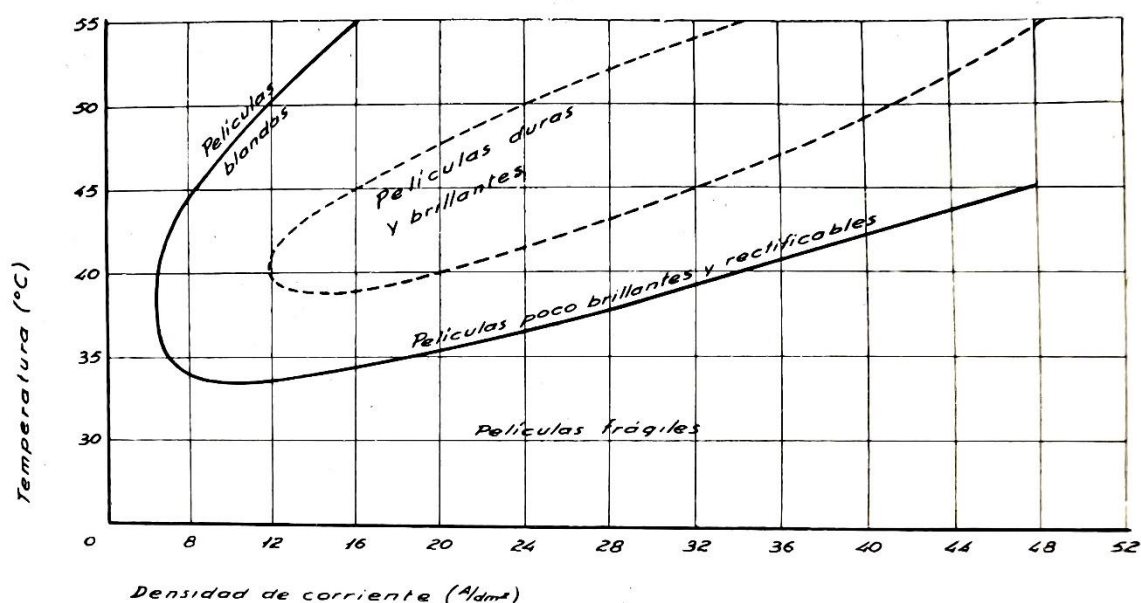


Figura 29. Influencia de la temperatura y de la densidad de corriente sobre las características y aspecto de la película de cromo (Gebauer) [2].

Para tener el conocimiento de la intensidad de corriente (I) de determinadas piezas que requiere el cromado duro, se establece una relación directamente proporcional, en donde se necesita previamente establecer de forma aproximada las magnitudes totales de las superficies a cromar (S) y la densidad de corriente con la que se va a trabajar (d), en A/dm^2 , obteniendo así:

$$I = S \times d$$

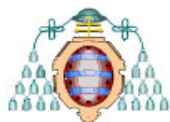
Una vez obtenida la intensidad es posible hacerse una idea, mediante la Ley de Ohm, de la tensión, medida en voltios, que se va a originar en los baños:

$$V = I \times R$$

Teniendo en cuenta la relación anterior:

$$V = S \times d \times R$$

Esta equivalencia cita una relación directamente proporcional entre la intensidad de corriente que se va a aplicar, en amperios, y la resistencia que ofrecen los baños. Esta resistencia es un parámetro algo difícil de establecer, ya que dependerá de las condiciones a las que se vean sometidas las piezas. Los factores más comunes que establecen esta resistencia son, por ejemplo, los niveles de contaminación de los baños y las distancias entre las superficies y los ánodos, en donde a medida que aumentan estos parámetros, mayores serán las resistencias.



Teniendo estas ideas en cuenta, se puede establecer previamente una aproximación de todos los parámetros que van a ser aplicados en un baño, y ello da lugar a que se puedan realizar posibles cambios dependiendo de las condiciones de trabajo. Aun así, a los resultados obtenidos se le deben sumar unos pequeños porcentajes por posibles fugas o pérdidas de corriente producidas por malas conexiones entre montajes y piezas, y por restos o impurezas de elementos que actúan como perturbadores.

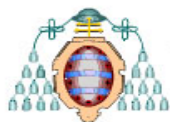
El ejemplo más fácil de visualizar se da en el cromado de dos piezas de exactamente la misma superficie dispuestas en baños de igual dimensiones; en donde, una se dispone en un baño totalmente nuevo, y la otra, por el contrario, se dispone en un baño muy contaminado. Estas piezas son aplicadas bajo exactamente las mismas condiciones, tanto la separación entre ánodos y superficie a cromar, como en las intensidades aplicadas, siendo la resistencia por contaminación el único parámetro que varía, teniendo una resistencia mucho mayor en el baño contaminado. Por esta última razón, ante una mayor resistencia, si se desea obtener los mismos resultados de espesor de cromo, bajo el mismo periodo de tiempo, la tensión debe aumentar, teniendo en cuenta las relaciones anteriores y por considerarse directamente proporcional a la resistencia.

Esta tensión más elevada da lugar principalmente a dos problemas, el más importante se basa en el capital empleado para la electricidad, en donde, bajo resultados muy similares, se producen mayores gastos en el baño contaminado que en el nuevo; el segundo problema que se produce por tensiones superiores son los mayores riesgos por aumentos incontrolados de temperaturas, produciendo marcas de quemados en las piezas, montajes, zonas de conexión, etc., siendo en ocasiones irreversibles y por ello, dando lugar en muchas ocasiones a inutilizaciones del material y de la pieza.

Bajo este problema se puede llegar a la conclusión de que, para obtener resultados similares, no siempre es posible el empleo de tensiones superiores con el fin de acortar los tiempos de trabajo; y, por el contrario, en determinadas ocasiones será necesario emplear menores densidades de corriente, aunque esto suponga mayores tiempos de espera de trabajo para que se produzca la deposición del cromo.

El concepto de establecer diferentes niveles de intensidad se puede aplicar a infinidad de diferentes problemas, como pueden ser los diferentes tiempos de espera para cumplir con los plazos de entrega, niveles de contaminación presente en los baños, del cromado de más o menos superficies de diferentes al mismo tiempo, etc. Aun así, los niveles de intensidad se deben mantener bajo determinados límites para que se pueda permitir la formación de una capa de cromo de buena calidad y resistencia. Además, esta intensidad debe guardar una estrecha relación con la temperatura, como se puede comprobar en las siguientes figuras.

El gráfico representando en la figura 30 representa los límites de densidad de corriente y temperaturas dentro de los cuales se obtiene un cromado duro brillante, característica que representa una buena calidad de la película cromo. En el siguiente gráfico de la figura 31



se representan resultados bastante concordantes, en donde se señalan, además, las distintas durezas conseguidas en las mediciones.

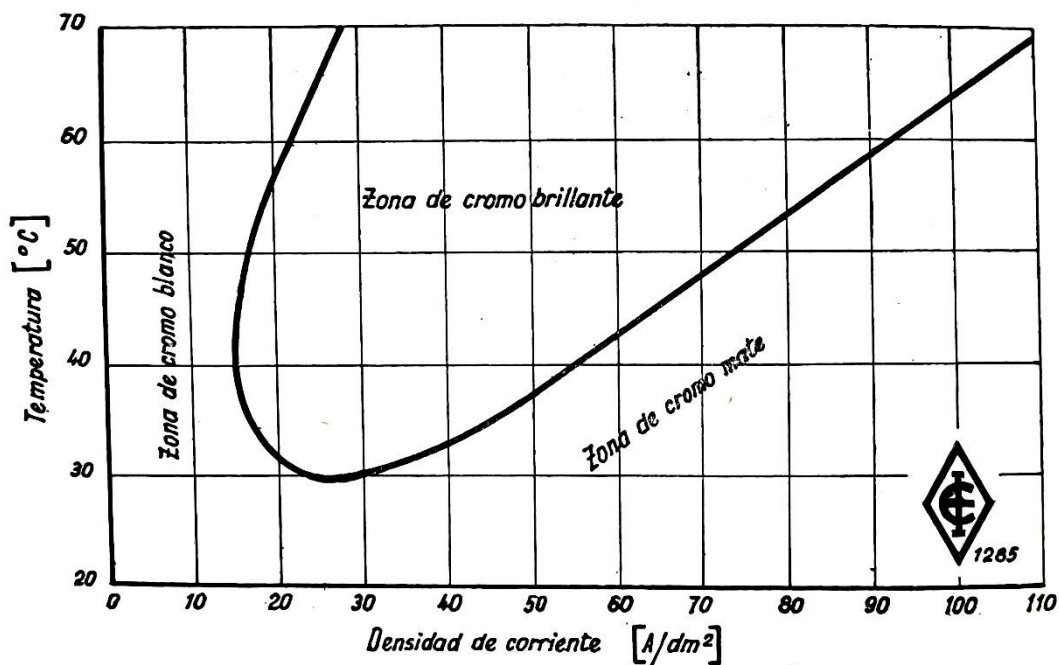


Figura 30. Relación entre las temperaturas y densidades de corriente necesarias para trabajar dentro de la zona de brillo (Bilfinger) [2].

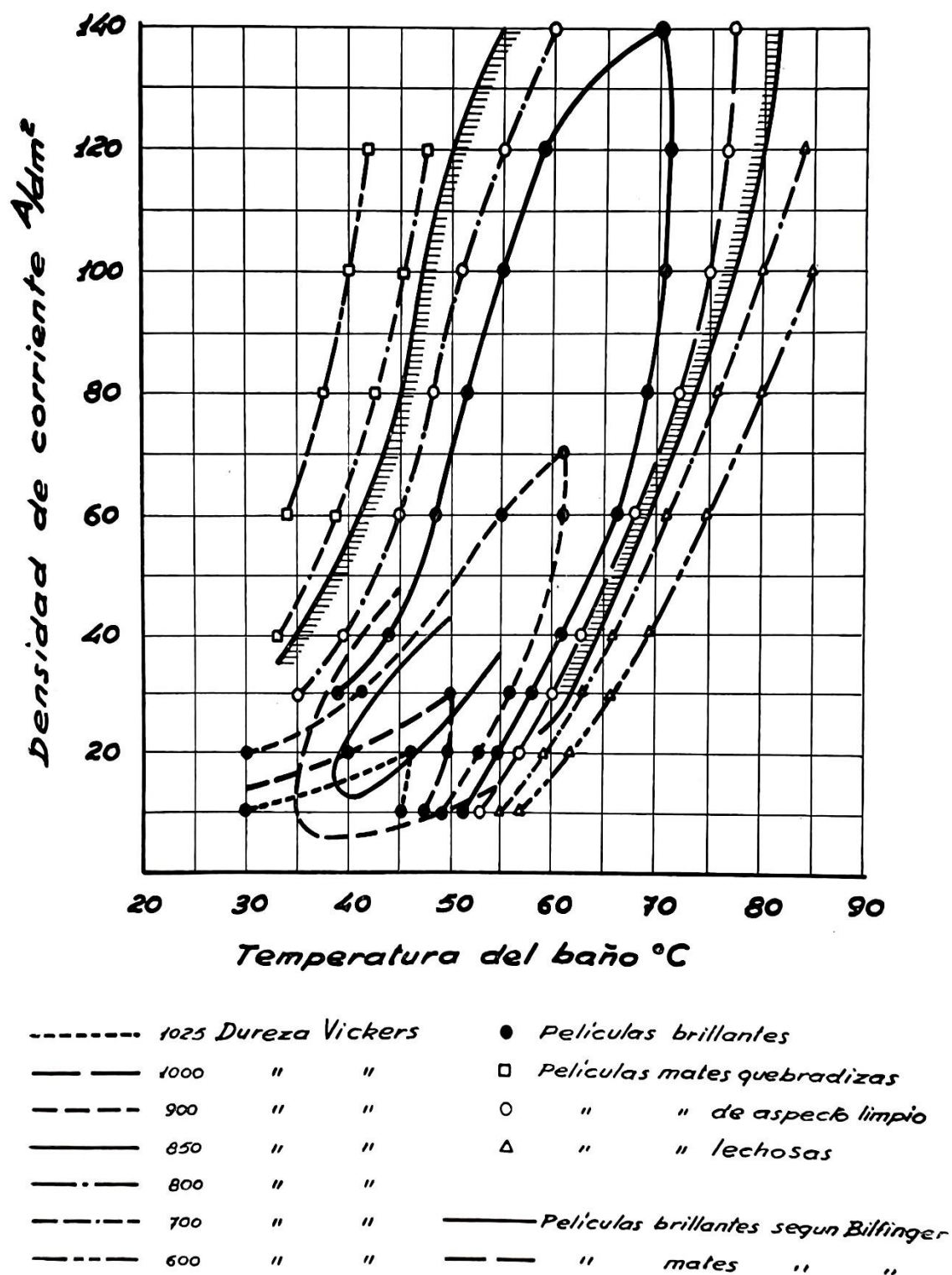
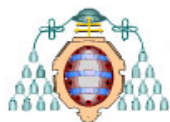


Figura 31. Dureza y aspecto del cromado duro obtenido a distintas densidades de corriente y temperaturas (W.Eilender, H.Arend, E. Schmidtman) [2].



6.6.2. VELOCIDAD DE DEPOSICIÓN

La velocidad de formación de una película de cromo depende esencialmente de la densidad de corriente, temperatura y del rendimiento del baño. Teóricamente el espesor de la película obtenida en un baño estándar de 250 g/l de CrO_3 y 2,5 g/l de H_2SO_4 es de 0,043 mm de promedio por hora, trabajando en condiciones de 50°C y 50 A/dm².

Esta velocidad de deposición en un baño normal viene representada en la figura 32, y en la tabla 16 se señalan los espesores, tiempos necesarios, densidades de corriente, temperaturas y rendimientos más corrientes en el cromado duro.

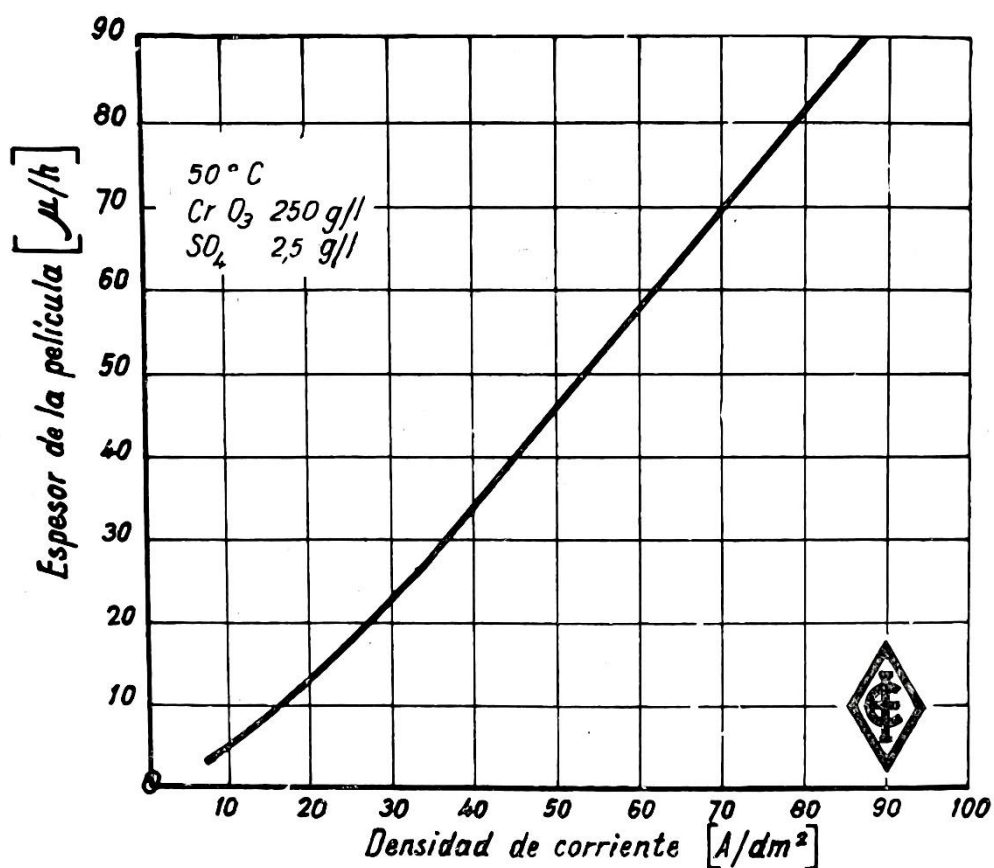


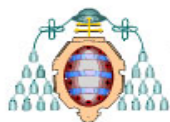
Figura 32. Velocidad de deposición del cromo [2].

Una vez obtenido el espesor necesario transcurrido un tiempo determinado, se retira directamente la pieza del baño, o se interrumpe la corriente, si se trata de la única dispuesta en el baño de cromado, y a continuación se lleva a la cuba de recuperación o enjuague, seguido de continuos enjuagues con agua fría corriente para dejar las superficies totalmente limpias.



Tabla 16. Velocidad de deposición del cromo electrolítico en un baño de composición 250 g/l y 2,5 g/l de CrO_3 y H_2SO_4 (E. L. Combs) [2].

Espesor (micras)	Temperatura del baño													
	40°C	45°C			50°C			55°C						
	Densidad de corriente (A/dm ²)													
	24	24	30	40	30	40	46	62	30	40	46	62	78	93
	Rendimiento de corriente (%)													
	19,9	16,6	18	18,8	16,8	17,9	18,8	20,1	16,4	17,0	17,5	19,1	19,7	20,6
	Duración (min) (h-min)													
0,2	0,7	1	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
0,5	1,6	2	1,2	0,9	1,3	1	0,8	0,5	1,3	1	0,8	0,6	0,4	0,4
0,7	2	3	2	1,4	2	1,4	1,1	0,8	2	1,5	1,2	0,8	0,7	0,5
1	3	3,4	2,4	2	2,7	2	1,5	1,1	2,6	2	1,6	1,1	0,9	0,7
1,3	4	4	3	2,3	3,2	2,4	2	1,4	3,3	2,5	2,1	1,4	1,1	0,9
2,5	7	9	6	5	6	5	4	3	7	5	4	3	2	2
5,1	14	17	12	9	13	10	8	5	13	10	8	6	4	4
7,6	22	26	18	14	19	14	11	8	20	15	12	8	7	5
10,2	29	34	24	18	26	19	15	11	26	20	16	11	9	7
12,7	36	43	30	23	32	24	19	14	32	25	21	14	11	9
15,2	43	52	35	28	38	29	23	16	39	30	25	17	13	11
17,8	50	1-1	41	32	45	34	27	19	46	35	29	20	15	13
20,3	58	1-9	47	37	52	38	30	22	52	40	33	22	18	14
25,4	1-12	1-26	59	46	1-4	48	38	27	1-5	50	41	28	20	16
50,8	2-24	2-52	1-58	1-32	2-8	1-36	1-16	54	2-10	1-40	1-22	56	44	36
76,2	3-36	4-18	2-57	2-18	3-12	2-24	1-54	1-21	3-15	2-30	2-3	1-24	1-6	54
101	4-48	5-44	3-56	3-4	4-16	3-12	2-32	1-48	4-20	3-20	2-44	1-52	1-28	1-12
127	6-0	7-10	4-55	3-50	5-20	4-0	3-10	2-15	5-25	4-10	3-25	2-20	1-50	1-30
152	7-12	8-36	5-54	4-36	6-24	4-48	3-48	2-42	6-30	5-0	4-6	2-48	2-12	1-48
178	8-24	10-2	6-53	5-22	7-28	5-36	4-26	3-9	7-35	5-50	4-47	3-16	2-34	2-6
203	9-36	11-28	7-52	6-8	8-32	6-24	5-4	3-36	8-40	6-40	5-28	3-44	2-56	2-24
229	10-48	12-54	8-51	6-54	9-36	7-12	5-42	4-3	9-45	7-30	6-9	4-12	3-18	2-42
254	12-0	14-20	9-50	7-40	10-40	8-0	6-20	4-30	10-50	8-20	6-50	4-40	3-40	3-0



6.6.3. DESGASEADO

En la mayoría de los procesos en los que se produce una deposición galvánica tiene lugar un fenómeno basado en absorción de hidrógeno en el cátodo, que puede afectar desfavorablemente en sus características físicas, siendo el cromado duro uno de los tratamientos en los que la absorción de gases alcanza volúmenes considerables.

El degaseado se basa en liberar de la pieza y de la película de cromo una parte de los gases, particularmente del hidrógeno, el cual es absorbido durante el proceso de cromado, cuyo fin consiste en la disminución de la fragilidad, manteniendo la dureza en un valor elevado [2].

La fragilidad de la película de cromo no depende únicamente del volumen o cantidad de gases absorbidos, sino también del estado de la superficie antes del tratamiento de cromado, del material base o de las condiciones en las que se haya llevado a cabo el cromado.

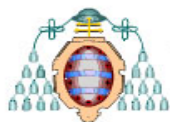
Para la eliminación de una gran parte de los gases absorbidos y evitar así una fragilidad excesiva, las piezas cromadas son sometidas a temperaturas de mínimo 100°C durante un periodo de 12 a 16 horas.

Generalmente, el método de aplicación consiste en introducir la pieza cromada en un horno, en donde se aumentan los niveles de temperatura desde la ambiente, hasta alcanzar valores entre 160 y 180°C, temperatura en donde se produce una gran liberación de los gases, sin que se produzcan alteraciones de forma notable en las características del cromado.

El degaseado tiene gran importancia en piezas de hierro y acero que deban descromarse y luego cromarse de nuevo, debido a que, si la superficie tratada retiene algo del hidrógeno procedente del primer cromado se producen muchas dificultades durante su nuevo tratamiento [2].

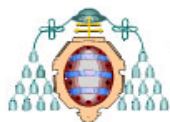
6.7. ANOMALÍAS EN EL RECUBRIMIENTO DE CROMO

Durante el desarrollo del cromado duro de una pieza intervienen múltiples factores, por lo que no siempre resulta fácil determinar el origen de una irregularidad o defecto a una parte del proceso, ya que en muchas ocasiones intervienen varios factores simultáneamente. Por ello, solamente un estudio completo de todas las circunstancias y condiciones en las que se ha realizado la operación permitirá establecer las causas de cualquier anomalía. A continuación, se indican las irregularidades más comunes que se producen durante este proceso.



6.7.1. IRREGULARIDADES EN EL BAÑO

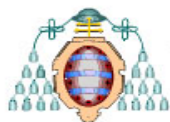
- *Requerimiento de mayores tensiones:* En ocasiones se puede observar cómo es necesaria la aplicación de voltajes superiores sobre una misma pieza para alcanzar la intensidad de corriente una aplicada anteriormente, esto como bien se ha citado puede ser debido a una mayor resistencia eléctrica del baño por desequilibrio en la relación $\frac{CrO_3}{SO_4}$, malos contactos en la sujeción de los ánodos o en el soporte, insuficiencia de superficie anódica, etc. [2].
- *Aumento de contenido en SO_4 :* La alimentación del baño se efectúa por adición de ácido crómico y posteriormente, para mantener las debidas proporciones de cada adición, correspondería otra adición proporcional de ácido sulfúrico. En la práctica las alimentaciones de SO_4 son determinadas después de un previo análisis, y algunas veces este indica un anormal exceso de ácido sulfúrico, originado por [4]:
 - a) Empleo de ácidos crómicos de calidades defectuosas con altos contenidos de SO_4 .
 - b) Aportación al baño, y a través de piezas, de soluciones ácidas empleadas en tratamientos preparatorios.
 - c) Defectuoso enjuague de los ánodos después de su limpieza en soluciones ácidas.
 - d) Errores de cálculo en las adiciones necesarias de SO_4 o en la realización de estas.
- *Disminución persistente del SO_4 :* En este caso, se puede indicar la incorporación al baño de soluciones alcalinas utilizadas durante el desengrasado o descromado, y retenidas en interiores o rincones de la pieza producido por un enjuague ineficiente, esto da lugar a la necesidad de rectificar continuamente el baño y además es probable también el aumento de Cr_2O_3 . Este fenómeno se puede producir tiempo después de una adición de carbonato de bario para bajar los niveles de SO_4 , esto puede dar lugar a que pequeños grumos de este producto no se disuelvan en un principio, y al hacerlo más tarde, poco a poco van disminuyendo el contenido de SO_4 [4].
- *Rápidas variaciones del contenido de SO_4 :* Muchas veces, durante la regulación del contenido de ácido sulfúrico, se observa que, a pesar de una buena agitación, los resultados obtenidos no corresponden. Estas dificultades son producidas en mayor parte por las elevadas densidades del baño de cromo y ácido, que dificultan la rápida difusión molecular. Por ello es recomendable en lo que respecta al ácido, diluirlo previamente en agua y mantener a una temperatura superior los baños,



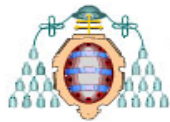
realizando una muy buena agitación. Aun así, la práctica ha demostrado que el sistema más preciso para el exceso de SO_4 , es la sustitución parcial del baño, como se ha citado en los apartados anteriores [4].

6.7.2. IRREGULARIDADES EN LA PELÍCULA DE CROMO

- *Cromado blando*: Este es referido al cromado brillante y aparentemente correcto, pero cuya dureza, ensayada con aparatos adecuados, aparece como inferior a la normal o a la obtenida en piezas idénticas. Es un caso poco frecuente, ya que una falta de dureza va acompañada, generalmente, de otras manifestaciones que sí denotan la causa de irregularidad. Sólo en baños contaminados fuertemente de hierro pueden obtenerse películas brillantes y blandas.
- *Cromado áspero al tacto*: La apariencia brillante con algo de aspereza al tacto, sin apreciación de granos de tamaños fácilmente visibles, es producida, generalmente, por muy pequeños cuerpos en suspensión y que sólo pueden separarse por decantación lenta del baño. Este fenómeno es producido muchas veces por la agitación de las capas inferiores y en particular después de una adición de carbonato de bario para la reducción de SO_4 , en donde no se ha dejado reposar el baño.
- *Dureza variable*: Producida por una gran variación de temperatura o de la densidad de corriente.
- *Cromo basto de aspecto cristalino*: Generalmente debido a una baja temperatura o a una densidad de corriente excesiva. El hierro en grandes proporciones puede dar lugar a este fenómeno.
- *Cromado de aspecto lechoso*: Caso producido también por desequilibrios en la relación entre la temperatura y la densidad de corriente.
- *Cromado de aspecto mate negruzco*: Producido por altos contenidos de impurezas y particularmente de Cr_2O_3 .
- *Cromado con cavidades y puntos negros*: Puede ser producido por falta de H_2SO_4 o por exceso de Cr_2O_3 .
- *Grietas en el cromado*: Fenómeno producido por tensiones internas superficiales del metal base puestas en acción por efecto del desprendimiento gaseoso en el cátodo. Estas grietas pueden producir roturas y el levantamiento de trozos de película. Para resolver este problema es necesario un tratamiento térmico previo a unos $180^\circ C$, un mejor pulido y en general un estudio más profundo del material.



- *Cromado mate*: El cromado mate, pero liso, sobre una superficie bien preparada, corresponde a un desequilibrio en la relación de temperatura y densidad o en la relación del baño.
- *Cromado con sombras*: El cromado realizado en condiciones aparentemente normales y con aspecto brillante, pero con “sombras”, indica que no ha sido por falta de corriente, sino por una defectuosa repartición de esta. Por ejemplo, en piezas cilíndricas que se croman rodeándolas de un ánodo circular, si este está mal centrado, puede dar lugar a la aparición de sombras en los puntos donde las distancias son más dispares, es decir, se produciría un espesor más leve del esperado.
- *Cromado con nódulos o granos*: Cuando la superficie presenta pequeños granos de aspecto uniforme, de distinto volumen y no repartidos de la misma forma en la superficie, el fenómeno es muy habitual en piezas de muy escasa superficie y puede atribuirse a:
 - a) Temperaturas excesivas.
 - b) Densidad de corriente excesiva.
 - c) Estado de superficie basto o irregular.
 - d) Presencia de partículas de carbón en la superficie (principalmente cuando el ataque anódico es realizado en la misma cuba de cromado).
 - e) Exceso de SO_4 , obligando al empleo de densidades de corriente excesivas.
 - f) Presencia en el baño de muchas partículas en suspensión, procedentes de carbonato de bario, utillajes, ganchos, etc.
 - g) Desengrase defectuoso.
- *Adherencia defectuosa*: Existen diversos aspectos respecto a este problema y cada uno de ellos tiene distinto origen. El fenómeno puede manifestarse en forma de rotura de la película y con ello su consecuente desprendimientos. Estos casos el problema es causado por defectos en los procesos de preparación, como restos de grasa u óxido, alteraciones superficiales, etc. También es producido, en mayor parte por erróneos procesos de preparación, en donde dependiendo del tipo de material se deben aplicar diferentes métodos.
- *Zonas sin cromar*: Existen dos principales manifestaciones de este fenómeno. En la primera, estas zonas sin cromar quedan localizadas en las zonas o rincones más alejados del ánodo, siendo muy característico en el cromado de piezas de formas muy complicadas si no se toman las precauciones necesarias al respecto. La segunda, consiste en un erróneo método de preparación según el tipo de material.



7. TRABAJOS EN EL TALLER DESPUÉS DEL CROMADO

El proceso de cromado duro no debe concluir solamente con la aplicación del recubrimiento de cromo. De hecho, los trabajos en el taller posteriores al cromado son fundamentales para asegurar que las piezas tratadas alcancen su máximo rendimiento y cumplan con los estándares de calidad requeridos. Estas tareas incluyen una serie de procedimientos críticos como el pulido, la inspección minuciosa, y posibles ajustes y correcciones necesarias para optimizar la funcionalidad y la durabilidad del recubrimiento.

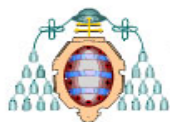
El empleo de estos trabajos adicionales permiten detectar y corregir imperfecciones, asegurar la adhesión del recubrimiento y mejorar las propiedades superficiales de las piezas. Por lo tanto, el énfasis en los trabajos de taller después del cromado es crucial para garantizar que el producto final no solo cumple, sino que supera las expectativas en términos de resistencia al desgaste, corrosión y rendimiento general.

7.1. PIEZAS CUYO REVESTIMIENTO TIENE QUE RECTIFICARSE

El rectificado, es aquel proceso llevado a cabo mediante el empleo de herramientas abrasivas, que actúan sobre la superficie de una pieza, eliminando muy pequeñas cantidades de material para obtener la forma y textura deseada.

Es indispensable que, a la salida del cromado, la pieza disponga de un revestimiento cuyo espesor sea superior al que haya de tener después de acabada, en una cantidad necesaria y suficiente para que se puedan obtener las cotas y límites asignados sin inconvenientes de ningún tipo. Esto es considerado el “margen de rectificación” o “sobreespesor”.

Cabe recalcar, una vez más, la imposibilidad del mecanizado del cromo a punto de cuchilla, cualquiera que sea la dureza. Toda tentativa en este sentido da lugar a la rotura mutua de ambos cuerpos enfrentados. El cromo sólo puede ponerse a puesta mediante muelas.



7.1.1. RECTIFICADO DEL REVESTIMIENTO DE CROMO

Cabe recalcar que el cromo no debe de tratarse con brutalidad. En primer lugar, porque es frágil, si este recibe un ataque con excesiva violencia provocaría la aparición de grietas.

Por otro lado, un calentamiento excesivo concentrado de forma local, producido por un ataque agresivo con la muela, libera tensiones internas que normalmente se quedan retenidas. Estas tensiones al quedar libres producen hendiduras o grietas en la película de cromo, pudiendo llegar a propagarse y a profundizar más o menos según la predisposición del metal [1].

Otra razón por la que un calentamiento muy pronunciado también resulta perjudicial es la pérdida de parte de la dureza del cromo, y al propio tiempo de su resistencia al desgaste.

Antes del proceso de cromado se deben haber llevado a cabo todas las precauciones necesarias para establecer o determinar de nuevo los centros o referencias que aseguran el exacto posicionamiento de la pieza sobre la máquina rectificadora, con el fin de que la pieza tenga su adecuada posición y permita a la muela recorrer de forma apropiada un trayecto paralelo a la superficie a trabajar. Bajo esta condición, el espesor del revestimiento que deja la última pasada de rectificado, encaminado a establecer las cotas exigidas en la pieza, debe ser perfectamente regular e igual en todos los puntos.

Toda infracción a la hora de centrar una pieza cromada producirá efectos desastrosos en la operación de rectificado. Por una parte, la adjudicación de un espesor superior en ciertas zonas que, puede resultar peligroso debido a la fragilidad del revestimiento, y por la otra parte, siendo más grave, una película más o menos delgada puede provocar insuficiencias al momento de “acorarzar” el metal revestido; incluso llegando al punto en el que directamente en determinadas zonas se puede llegar a eliminar totalmente la película y dejar el material base al desnudo.

En la siguiente figura se puede observar un claro ejemplo de una falsa maniobra de este tipo, en el que se ha rectificado una pieza bajo un falso eje, tomado unas malas referencias de puntos de centrado.

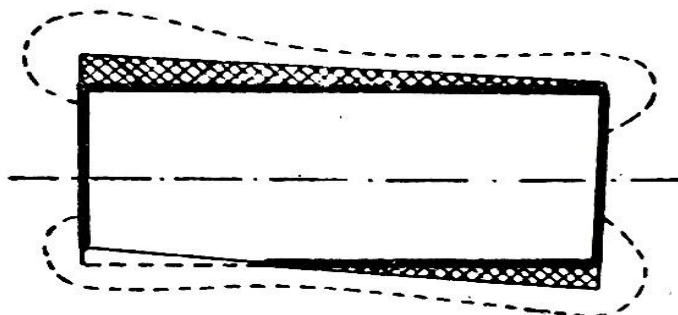
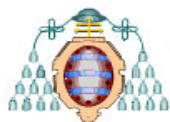


Figura 33. Rectificado de una pieza bajo un falso eje [1].



A la hora de la operación de rectificado de cromo, se debe tener muy en cuenta todos los fenómenos citados, y para evitar cualquier tipo de inconveniente es necesario atenerse a los siguientes procedimientos:

- *Muelas para el rectificado:* existen multitud de muelas abrasivas dependiendo de la finalidad del trabajo a realizar, con el fin de seleccionar una muela adecuada a su operación. Se deben tener en cuenta factores como: tipo de material a rectificar, exactitud requerida del acabado y forma, área de contacto, velocidad de la rueda, potencia de la máquina, uso de refrigerante, etc.

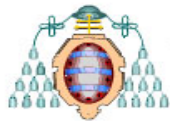
Conocer las propiedades del material, como pueden ser la dureza y la dificultad de molienda, es uno de los factores más importantes en la selección del tipo de abrasivo y su tamaño de grano adecuado.

En general, deben usarse muelas más bien blandas, porosas o también llamadas muelas flexibles. Indudablemente una muela muy blanda se desgasta más rápidamente que una muela dura, pero es preferible un ligero aumento en este desgaste que encontrarse con riesgos de fisuras de cromo y calentamiento excesivo. Aun así, no debe olvidarse que en los rectificados de materiales muy resistentes se requiere siempre el uso de muelas muy duras, ya que en caso contrario se producirían altos desgastes de la muela sin efecto alguno sobre el material. De todas formas, la muela que trabaje sobre cromo se desgasta siempre más rápidamente que trabajando sobre aceros.

La exactitud del acabado es otro de los factores más importantes a considerar, si el objetivo es conseguir acabados de baja rugosidad y tolerancias estrechas, es recomendable el uso de granos más fino que otorgue más puntos de contacto entre el trabajo y la rueda. Por el contrario, si se requieren tasas de eliminación de material rápidas o la forma no debe ser crítica, se puede permitir el uso de muelas de grano más grueso.

Todos estos factores resultarían inútiles en caso de no diamantar con frecuencia la muela, es totalmente necesario restituir las aristas para que tallen el material sin calentamientos, debido a que, cuando comienzan a desgastarse los granos sólo pueden arrancar el material de forma basta, frotar en vano, producir embotamientos o marcar la superficie. Naturalmente al rectificar cromo se obliga a afilar la muela con más frecuencia, que al trabajar con acero.

- *Velocidades periféricas:* Las velocidades de giro de la pieza sobre el eje de la rectificadora deben ser elevadas, sin sobrepasar en cada caso el límite de seguridad. Si este último lo permite, es conveniente alcanzar entre 25 y 40 m/s para permitir realizar un proceso eficiente y rápido. En el caso del empleo de velocidades demasiado bajas, la muela tiende a patinar, roza y calienta, deteriorando al cromo, y en resumen no produce efectos útiles durante el proceso.
- *Profundidad de pasada:* Con el fin de evitar el arranque de partículas del metal demasiado grandes y provocar, una vez más, un calentamiento anormal, es preciso



limitarse a realizar pasadas muy ligeras cuya profundidad no debe exceder la centésima de milímetro.

- *Líquido de refrigeración:* La lubricación debe ser ininterrumpida y abundante, con el fin de evitar calentamientos, al mismo tiempo debe vigilarse que el líquido alcance de forma exacta y continua la parte que se trabaja del revestimiento. A su vez se debe efectuar un buen filtrado. Finalmente resulta recomendable recurrir al agua carbonatada o a la taladrina, este último es considerado un fluido de base acuosa y un poco aceitosa.
- *Superficie especular de la muela:* En los casos que se sea necesario la obtención de una superficie de una calidad extraordinaria, tanto en aspecto como dimensionalmente, es decir, de gran precisión, se recurre a muelas especiales conocidas como “especulares”, de grano muy fino, que puede alcanzar hasta el grado 500.

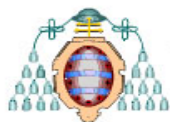
7.1.2. PULIDO Y BRUÑIDO DEL CROMO RECTIFICADO

Con frecuencia resulta ventajoso, y en numerosas ocasiones necesario, acabar el estado de superficie mediante el proceso de rectificado, aunque este ya sea considerado como fino. En tal caso se realiza un pulido o, eventualmente, un bruñido, con el fin de llevar la pieza en cuestión hasta el punto exigido para conseguir sus determinadas exigencias y correcto funcionamiento.

El estado superficial obtenido depende totalmente de efectos como la suavidad del rozamiento del cromo, y con ello, la resistencia que ofrece al desgaste, afectando directamente al retraso de aparición de holguras, duración del mecanismo, etc. De él dependen también, no solamente el menor esfuerzo exigido al mecanismo, sino incluso la disminución de su calentamiento, pudiendo llegar a originar incrementos de la velocidad admisible y, frecuentemente, una elevación de su rendimiento. Los medios precisos para obtenerlas no suponen gran dificultad en comparación a las grandes ventajas que ofrecen estos métodos:

- *Pulido del cromo:* Generalmente se realiza mediante el proceso de abrasión, efectuado mediante el empleo de papeles abrasivos, de grano cada vez más fino, descendiendo hasta los 4 o 5 ceros, y bien regulares, más bien algo redondeados que angulosos, con el fin de no rayar, aunque sea de forma muy fina, en vez de realizar un verdadero pulido.

Dependiendo del técnico pueden variar las formas de realizar el proceso, hay casos en donde se pueden aplicar velocidades periféricas menores con la ayuda de aceites especiales añadidos a los papeles abrasivos, permitiendo así mayores presiones de acabado y evitando sobrecalentamientos, por el contrario, también se pueden aplicar velocidades periféricas superiores, siempre entre los límites de



seguridad, y con ello menores presiones de pasada, obteniendo así resultados muy similares al caso anterior.

También, dependiendo de la forma de la pieza, se puede recurrir a acabados con discos o tampones de fieltro, empleando verde de cromo u otros abrasivos muy finos.

De la misma manera que se puede pulir electrolíticamente el acero, se puede pulir electrolíticamente el cromo, siempre por vía anódica, debido a que el objetivo es eliminar por reabsorción lo que sobresale ligeramente. Se trata de una técnica muy particular que supone un mayor riesgo, por lo que no se realiza de forma habitual, salvo en talleres especializados.

- *Bruñido del cromo*: Esta operación consiste básicamente en poner en funcionamiento una herramienta llamada mandril, destinado a mejorar la precisión dimensional y geométrica de la pieza. Se debe realizar bajo la ayuda de mecanismos de fundición o cobre. Asimismo, se necesita el empleo de verde de cromo o cualquier pasta fina, adaptada al grado de acabado que desea obtenerse. Se debe evitar a toda costa los mecanismos de bronce, puesto que el rozamiento de este contra el cromo, es francamente malo cuando el citado bronce tiene contenidos más o menos altos en fósforo

7.1.3. TALLADO DE ARISTAS

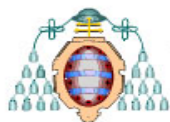
En ciertas ocasiones, puede ser sumamente preciso recurrir al tallado de una arista muy viva y ajustada en el reborde que se forma a lo largo de un ángulo saliente, previamente redondeado, debido a las protuberancias que se generan en tales zonas de la pieza.

El trabajo para realizar debe suponer una alta precisión, ya que en la mayoría de los casos los tallados de aristas se deben realizar de forma manual, mediante el empleo de radiales con discos de diferentes tipos de granulaciones o con rotalinas con puntas de piedra para amoldar y lijar. Se debe tener especial cuidado ya que un error en la aplicación de estos métodos puede rallar o estropear la superficie acabada.

7.1.4. ELIMINACIÓN DE GRANULACIONES

Como ya se ha indicado, a lo largo del contorno del revestimiento aparecen granulaciones, en ocasiones de dimensiones relativamente importantes dado un espesor del revestimiento más o menos elevado.

Se debe prestar especial atención, debido a la inferior adherencia del cromo en estos puntos, por lo que resulta forzosa su eliminación. En caso ponerse en marcha una pieza con granulaciones puede producir desprendimientos mientras funciona el mecanismo en



cuestión, quedando liberadas, suponiendo graves desperfectos cualquiera que sea su resistencia. Dado que la dureza del cromo es superior a la del cuarzo, tales daños son incluso peores que los originados por la arena en un engranaje.

En ocasiones basta con un raspado de la parte superficial en todos los puntos en donde se han formado, para que, a la hora del rectificado con muela no se “arranquen” de golpe estos glóbulos, provocando mayores daños de la película de cromo. No obstante, si la formación de estos glóbulos es muy exagerada, en el momento en que la superficie de la pieza entre en contacto con la muela, incluso habiendo eliminado la parte superior de los glóbulos, la película de cromo se verá afectada, produciendo la inutilización de la capa y dando lugar a la repetición de todo el proceso de descromado y cromado

7.2. PIEZAS CUYO REVESTIMIENTO NO TIENE QUE RECTIFICARSE

Existen innumerables tipos y estilos de piezas que no requieren de superficies perfectamente acabadas y pulimentadas para cumplir las funciones que tienen que realizar, como pueden ser los moldes de fabricación de ladrillos, rodillos destinados a triturar fruta, etc. También es muy común que la forma de las piezas impida en su totalidad la realización de los procesos de rectificado y pulido.

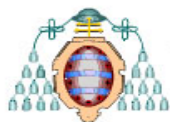
Otro caso para tener en cuenta son los requisitos dados por el cliente, debido a que, un taller pese tener la posibilidad de realizar ambos procesos, tanto el de cromado como el rectificado, el cliente, dependiendo del capital y las exigencias, puede elegir realizar solamente el proceso de cromado de la pieza.

En los casos que sólo se deba realizar el cromado, sigue siendo necesario realizar algunos precisos retoques y un cierto acabado.

7.2.1. RETOQUES LOCALES

Por mucho cuidado que adopte el cromador durante la ejecución de su trabajo, se pueden manifestar, en ciertos puntos, espesores superiores con respecto a las cotas impuestas en la pieza, especialmente en las extremidades de las generatrices, sobre el contorno de superficies planas, vértices y convexidades. De esta manera pueden surgir ligeras asperezas particularmente en salientes acusados, o en el límite del revestimiento.

Debido a la extrema dureza del cromo, es necesario recurrir en tales zonas a la piedra abrasiva, dado que estos sobreespesores o asperezas siempre son muy leves, en muy raras ocasiones alcanzan la centésima de milímetro, o si la rebasan, es en muy pequeña escala.

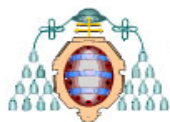


7.2.2. RASQUETEADO DE PROLIFERACIONES

Cualesquiera que hayan sido las precauciones tomadas por el cromador para evitar la formación de las globulaciones, éstas, aun así, aparecen con mucha frecuencia en los bordes del revestimiento. Aunque sean de muy pequeñas dimensiones, siguen teniendo la misma dureza del cromo, y su liberación durante su trabajo puede causar graves perturbaciones. Por consiguiente, es totalmente necesario eliminar estas proliferaciones procediendo a un raspado o rasqueteado a lo largo de las zonas en las que se encuentren.

7.2.3. PULIDO O BRUÑIDO DEL REVESTIMIENTO

El revestimiento bruto del depósito, como bien se ha citado, se presenta semejante a una piel de naranja o al de una cáscara de huevo, por lo que, en ocasiones, este estado superficial dificulta la misión que debe cumplir. En ocasiones, es conveniente eliminar estas asperezas, recurriendo a los métodos de pulido o bruñido. Estos procesos, como es evidente, no obtendrán tales grados de finura con respecto a los realizados posterior al rectificado, pero aun así es de suma importancia realizar el trabajo acorde a los parámetros establecidos por el cliente.



8. COSTO DEL CROMADO DURO

En el estudio del capital necesario para realizar el cromado duro de una pieza se van a tener en cuenta solamente los factores que intervienen de forma más directa en el costo de producción de la película de cromo, prescindiendo de aquellos otros que actúan de forma indirecta, como pueden ser gastos generales, amortización, operaciones mecánicas de rectificación, mecanización, torneado, acabado, etc.

El costo del cromado duro de una superficie viene influenciado principalmente por los siguientes aspectos:

- El cromo depositado en forma de metal y pérdidas sufridas durante el curso del tratamiento.
- La corriente eléctrica.
- La mano de obra.
- Los materiales accesorios que son requeridos para el aislamiento y protección de superficies, ánodos especiales, etc.
- Soportes especiales para determinadas aplicaciones.

8.1. EL CROMO METAL

El cromo depositado en la superficie de la pieza y en los ganchos o soportes producidos por defectos de aislamiento es exclusivamente obtenido del ácido crómico del baño, pero cuyo consumo también es influenciado por las pérdidas de aspiración y de enjuague.

Para el cromado duro de 1 dm^2 de superficie con un espesor de 0,03 mm, puede estimarse un consumo de 5 g de CrO_3 , a los que se debe sumar un 20 % por pérdidas en la aspiración y un 8 % por pérdidas de enjuague. Esto nos da un consumo aproximado de 6,40 g por dm^2 de superficie con 0,03 de espesor.

Por último, se deben prever pequeñas cantidades consumidas en el cromado de las zonas insuficientemente aisladas, en cromados defectuosos y en las zonas en las que la propia textura del cromo da lugar a espesores ligeramente superiores. Así como también se debe prever un pequeño porcentaje que cubra el riesgo de posibles pérdidas de baño por errores de conservación, mantenimiento o rectificación. Para estas previsiones se puede establecer una carga del 30 % del consumo teórico, con lo que se obtiene:



Tabla 17. Cantidad aproximada de cromo depositado por dm^2 para 0,03 mm de espesor [2].

Por deposición de cromo	5 g
Pérdidas secundarias 20 + 8 %	1,4 g
Previsión para posibles pérdidas 30%	1,5 g
Total CrO_3 por dm^2 para 0,03 mm de espesor	7,9 g

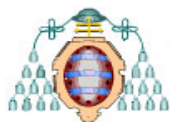
8.2. CORRIENTE ELÉCTRICA

La corriente continua necesaria para la correcta deposición de la película de cromo de 0,03 mm sobre 1 dm^2 se puede calcular aproximadamente de la siguiente forma:

Tabla 18. Potencia eléctrica consumida durante el cromado [2].

Operación	Voltaje	Amperaje	Duración	Vatios-hora
Cromado	6	50	1 hora	300
Desengrase	6	10	5 min	5
Ataque anódico	6	50	5 min	25
Corriente teórica consumida (0,03 mm sobre 1 dm^2)				330
Posibles pérdidas por fugas, “golpes de corriente”, ensayo previos, repeticiones, etc., ± 40 %				132
Corriente continua total consumida (0,03 mm sobre 1 dm^2)				462

Trabajando con rectificadores y teniendo en cuenta su rendimiento, se puede calcular que este consumo tendrá un valor aproximado de unos 600 w/dm^2 en corriente alterna para 0,03 mm de espesor. A estos se deben sumar los consumos correspondientes a los servicios de aspiración, calefacción, desgaseado, etc. Estos valores son algo difíciles de establecer, puesto que dependen del volumen y capacidad de la instalación con relación al volumen o superficies de piezas en tratamiento, potencia y rendimiento de los elementos instalados, etc. Aun así, con la práctica y la experiencia se puede establecer un promedio horario de consumo de corriente para todos estos conceptos. En instalaciones de tipo medio, como por ejemplo de 1.000 litros, con una intensidad eléctrica de 2.000 amperios



Trabajando con rectificadores y teniendo en cuenta su rendimiento, se puede calcular que este consumo tendrá un valor aproximado de unos 600 w/dm^2 en corriente alterna para 0,03 mm de espesor.

A este valor se le deben sumar los consumos correspondientes a los servicios de aspiración, calefacción, desgaseado, etc. Estos valores son algo difíciles de establecer, puesto que dependen del volumen y capacidad de la instalación con relación al volumen o superficies de piezas en tratamiento, potencia y rendimiento de los elementos instalados, etc. Aun así, con la práctica y la experiencia puede establecer, por ejemplo, para instalaciones medias de 1.000 litros, con una intensidad eléctrica de 2.000 amperios, un promedio de 6.000 vatios la hora que, cromando con un promedio de unos 30 dm^2 simultáneos, corresponderá 200 w/dm^2 , por lo que tendremos un total de $600 + 200 = 800 \text{ w/dm}^2$ de corriente alterna trabajando a pleno rendimiento. Se debe tener en cuenta que algunos casos de cromado, como puede ser el caso de las piezas de fundición, se necesitan intensidades de corriente superiores, por lo que se pueden establecer valores de hasta 1500 w/dm^2 .

8.3. MANO DE OBRA

En el caso de una instalación de 1.000 litros de capacidad y 2.000 amperios, como la referida en el apartado anterior, podrá cromar, llevada a su máxima capacidad de producción, una superficie media de 30 dm^2 con un espesor de 0,03 mm por hora, bajo la aportación de, por ejemplo, un especialista y dos auxiliares. En la práctica, es prácticamente improbable trabajar a esta máxima capacidad, por ello es necesario consultar con frecuencia los partes de producción que señalan si se debe variar o no aquel promedio. En el cálculo de la mano de obra influirán, además, no sólo los conocimientos, habilidad y experiencia de los operarios, sino también el volumen, la forma y dificultades que puedan presentar las piezas a cromar, así como la posibilidad de realizar el trabajo en serie, cosa poco probable en este tipo de talleres.

Este cálculo de mano de obra comprende solamente a al cromado propiamente dicho, es decir, a la preparación química o electrolítica de la pieza, montaje de ánodos auxiliares, sujeción, aislamiento de superficies, cromado, enjuagues, desgaseado y acabado final.



8.4. MATERIALES ACCESORIOS

Resulta también muy complicado dar cifras de carácter general y por ello deberá calcularse en cada caso determinado el consumo aproximado del material aislante, debido a que existen piezas que precisan de muy pocas cantidades de productos, y otras, por el contrario, requieren grandes cantidades de barniz, ceras, plásticos, etc.

Los productos necesarios o secundarios para la corrección del baño, sales para baños de desengrase, ataque anódico y descromado, representa siempre valores muy reducidos, que pueden establecerse como un 10 % de ácido crómico total consumido.

8.4.1. MATERIALES ESPECIALES

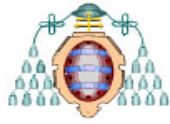
En el cromado de determinadas piezas, como pueden ser cigüeñales, segmentos, camisas de cilindro, moldes de ladrillos, etc., es necesario la construcción de útiles que no dispondrán de muchas otras aplicaciones y, por ello, su valor debe agravar el costo del cromado, teniendo en cuenta la cantidad de piezas para la que puede ser utilizado con el fin de repartir equitativamente el costo; ya que el material con el que ha sido construido sigue conservando un determinado valor, y no es correcto cargar todo el costo en la única pieza para la que ha sido construida.

8.5. RESUMEN

Teniendo en cuenta todos los factores previos citados, el coste de cromado de 0,03 mm de espesor para una superficie de 1 dm^2 se puede representar de la siguiente manera [2]:

Tabla 19. Factores que influyen en el costo del cromado duro [2].

Ácido crómico	7,9 gramos
Corriente eléctrica	0,8 kW de corriente alterna
Mano de obra especialista	0,033 horas
Mano de obra auxiliar	0,066 horas
Materiales accesorios	10 % según la cantidad ácido crómico empleado
Materiales especiales	A estipular en cada caso

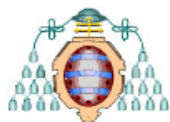


Naturalmente, todos estos valores son una aproximación, por lo que en un trabajo tan complejo como es el cromado duro, las variaciones pueden alcanzar un 50 % por encima o por debajo de los valores dados, dependiendo también del proceso utilizado en cada taller.

También se deben tener en cuenta otras consideraciones del tipo económico o comercial, como por ejemplo los cálculos de la amortización en general de la maquinaria pesada, como son las rectificadoras, y la amortización de maquinaria ligera, como pueden ser las cubas, armaduras y elementos auxiliares.

La vida de las soluciones es larga y práctica, aunque limitada, en donde su duración es afectada por factores esenciales, como el cuidado de su mantenimiento, corrección e intensidad de trabajo. Muchos son los baños de cromado que continúan trabajando después de años de intenso trabajo, en cambio otros tienen que ser parcial o totalmente renovados al cabo de unos pocos años debido a graves errores o a causas accidentales.

La asignación de trabajos de estudio, investigación, ensayos, documentación, etc., también deberá contar con relativa importancia.



9. GESTIÓN DE PROTECCIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS

En la sociedad de hoy en día resulta fundamental una buena gestión de los residuos debido al gran impacto significativo que produce al medio ambiente, la salud pública y la economía; en donde, la industria del cromado duro y sus derivables producen todo tipo de residuos, tanto líquidos, sólidos como gaseosos, los cuales son una realidad inevitable y por ello su tratamiento responsable debe suponer una de las mayores prioridades.

El tratamiento de los residuos producidos en el cromado duro supone un papel crucial no sólo para la preservación y mantenimiento del medio ambiente sino también para mantener unas buenas condiciones de ambiente laboral. La acumulación descontrolada de residuos puede llegar a producir contaminaciones en suelos, aguas, tanto subterráneas como superficiales, y a su vez puede contribuir a la degradación del aire mediante la emisión de gases nocivos; poniendo en riesgo a la biodiversidad, ecosistemas y a las comunidades dependientes de los recursos naturales.

Además, una buena gestión de residuos resulta de vital importancia para proteger la salud de los trabajadores, en donde largas o descontroladas exposiciones sin un correcto tratamiento pueden llegar a provocar enfermedades respiratorias, infecciosas, etc. En este ámbito se debe tener especial atención con los gases y líquidos residuales producidos por los ácidos empleados en los baños crómicos.

A su vez, la implementación de adecuados sistemas de gestión puede fomentar la innovación, creación de empleo y desarrollo de industrias que están relacionadas con la recuperación, reciclaje y valoración de los residuos.

Otro importante factor a tener en cuenta son los costes relacionados con la limpieza de áreas que son afectadas por disposiciones inadecuadas de residuos, por ello, una reducción de la contaminación puede resultar en grandes ahorros financieros a largo plazo, tanto a nivel industrial, autonómico y estatal.

9.1. RESIDUOS GENERADOS EN EL PROCESO DE CROMADO DURO

Son muchos y de muy diferentes características los residuos producidos por una planta de cromado duro, por lo que, para establecer una clasificación de los más habituales, y de los que son producidos en mayores cantidades, es necesario realizar una división en dos grupos: residuos no peligrosos y residuos peligrosos.

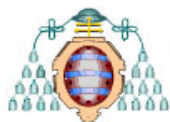


Tabla 20. Residuos generados no peligrosos.

Concepto	Código LER	Descripción
Papel y cartón	200101	Papel y cartón
Banal	200301	Mezclas de residuos municipales
Madera	200138	Madera limpia
Plástico	200139	Plásticos no contaminados
Material eléctrico y electrónico	200136	Equipos eléctricos y electrónicos
Metales	200140	Metales no contaminantes

Tabla 21. Residuos generados peligrosos

Concepto	Código LER	Descripción
Disolución de cromo	110106	Ácidos no especificados en otra categoría
Lodos crómicos	110198	Residuos derivados del depósito de los baños de cromo
Lodos mecanizado	120114	Residuos resultantes de líquidos refrigerantes o taladrina
Absorbentes	150202	Residuos procedentes de materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminadas de cromo
Lodos depuradora de cromo	190205	Residuos generados por la depuradora de aguas crómicas
Aceite	130208	Aceite usado sin PCB
Aceites hidráulicos	130110	Aceites hidráulicos con minerales no clorados
Envases contaminados	150110	Envases que contienen restos de cromo empleados para su transporte
Residuos de pintura y barnices	080111	Residuos de elementos protectores que contienen disolventes u otras sustancias peligrosas



Aerosoles	160504	Gases en recipientes a presión con sustancias peligrosas
Reactivos de laboratorio	160506	Productos químicos de laboratorio que consisten o contienen en sustancias peligrosas, incluidas las mezclas de productos químicos.

9.2. LOGÍSTICA INTERNA DE RECOGIDA DE RESIDUOS

La generación de residuos en las plantas de cromado duro depende de infinidad de factores, todos ellos relacionados con los diferentes niveles de producción, maquinaria, operadores, regulaciones propias de cada entidad, etc., y por consiguiente la cantidad de residuos resultantes se verá influenciada.

Pese a las posibles diferencias en lo que se refiere a la cantidad de residuos producidos, todas las plantas de cromado deben seguir procesos similares al momento de su recogida, en donde, una vez se establece la orden de recolección, los residuos se deben cargar y almacenar a la espera de carga de un camión autorizado y posteriormente del traslado a un gestor final.

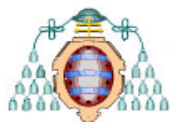
La extracción de los residuos y su recogida se realizan habitualmente de forma manual, en donde los operarios encargados recogen los contenedores y los desplazan con carretilla eléctrica hasta el punto correspondiente en cada nave.

Cada planta debe disponer de contenedores específicos y adecuados para el depósito de los diferentes residuos generados que, deben ser identificados y asignados según los códigos LER mediante personal cualificado, además se debe verificar que el almacenaje se realiza de forma correcta según lo establecido en la normativa.

Resulta de vital importancia tener especial atención durante el momento de extracción y transporte de los residuos considerados como peligrosos, debido a posibles vertidos o

derrames que pueden producir graves consecuencias no sólo a los alrededores de la nave que se verían afectados, sino también a los operarios, por lo que los límites de seguridad deben estar bien establecidos en todo momento,. Su zona de almacenaje durante el periodo de espera de recogida debe establecerse en zonas de la nave bien aisladas y alejadas en la medida de lo posible de cualquier tipo de acción de trabajo, evitando de tal forma cualquier tipo de incidencia.

Los residuos considerados como no peligrosos, por el contrario, pueden ser depositados en contenedores en zonas más habituales y transitadas de la nave, también siendo necesario establecer una zona de seguridad delimitada para dichos contenedores.



Para realizar una correcta gestión de tratamiento de residuos, es necesario obtener los datos exactos con la cantidad de los diferentes tipos de residuos generados, con el fin de establecer los presupuestos aproximados que supone la totalidad del proceso, desde la extracción hasta, finalmente, su retirada.

9.3. CONTROL MEDIOAMBIENTAL

El control medioambiental en una planta de cromado duro es esencial para minimizar el impacto negativo en el entorno. Este apartado abordará dos aspectos clave: las emisiones a la atmósfera y el vertido de aguas residuales. Se explorarán las tecnologías y prácticas implementadas para controlar y reducir las emisiones de vapores tóxicos y la gestión adecuada de los residuos líquidos generados durante el proceso, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales y la protección del ecosistema.

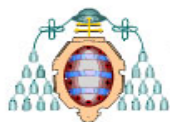
9.3.1. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Como bien se ha citado en los apartados anteriores, las plantas de cromado duro generan diversas emisiones a la atmósfera, siendo las más preocupantes las que contienen compuestos de cromo hexavalente, Cr (VI), debido a sus altos niveles de toxicidad, siendo considerado como cancerígeno. Durante el proceso de cromado, estas sustancias pueden liberarse en forma de nieblas ácidas y vapores, representando un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente.

Para mitigar estos riesgos, existen estrictas regulaciones ambientales que las plantas de cromado deben cumplir. Estas incluyen:

- Límites de emisión: Normativas como las establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la Unión Europea fijan límites máximos permisibles de emisiones de Cr(VI) al aire.
- Sistemas de captura y filtración: Las plantas deben implementar sistemas de extracción de aire y filtración, como los citados aspiradores de gases para neutralizar tales emisiones de Cr(VI) antes de su liberación.
- Monitorización: Las instalaciones están obligadas a monitorear continuamente sus emisiones y reportar los datos a las autoridades competentes, garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales.

Estas medidas son esenciales para reducir el impacto ambiental de las plantas de cromado duro y proteger tanto a los trabajadores como a la comunidad circundante.



9.3.2. VERTIDO DE AGUAS RESIDUALES

Se entiende como aguas residuales industriales a las procedentes de los procesos propios de la actividad de instalaciones comerciales o industriales que contienen presencia de sustancias contaminantes disueltas o en suspensión.

A medida que se establecen nuevas regulaciones medioambientales, las administraciones competentes deben adaptarse a las nuevas contingencias, estableciendo nuevos sistemas y trámites de gestión que permitan el cumplimiento de la normativa, por lo que, de la tal forma, la industria del cromado duro se vio obligada a introducir cambios en los procedimientos de trabajo.

Hoy en día las entidades que ejercen el proceso de cromado duro, por ley, tienen la responsabilidad de prestar servicios de saneamiento o autorizar vertidos, sin perjuicio de lo que disponga la legislación aplicable para la Administración del Estado, además, tienen como objetivo regular los vertidos de aguas residuales, según el ámbito territorial, con el fin de proteger y optimizar las instalaciones de saneamiento y conseguir la preservación del medio ambiente, es especial para:

- Proteger la salud del personal que trabaje en sistemas colectores e instalaciones de tratamiento.
- Prevenir el deterioro y la obstaculización de los sistemas colectores e instalaciones de tratamiento.
- Prevenir efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud.
- Conseguir que las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad establecidos en la normativa vigente.
- Garantizar que los fangos puedan recolectarse de forma segura desde la perspectiva medioambiental.

Un sistema de las entidades para adaptarse a la legislatura en la industria del cromo fue la instalación de depuradoras internas, que permiten tratar y purificar de forma sencilla y práctica las aguas residuales generadas, reduciendo así significativamente la contaminación y evitando posibles sanciones legales, cuyo funcionamiento se da en los apartados anteriores.

En los casos en los que no se disponga de sistemas de depuración automáticos, se deben establecer otras metodologías de tratamiento, incluso manuales, con el fin de cumplir con la ley establecida.

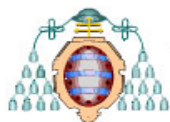


9.3.3. LEGISLACIÓN APLICABLE EN PLANTAS DE CROMADO DURO

En este apartado se presenta una tabla que resume la legislación aplicable a las plantas de cromado duro. La normativa incluye regulaciones sobre seguridad laboral, control de emisiones atmosféricas, gestión de residuos y vertidos de aguas residuales, entre otros aspectos. Este marco legal es fundamental para asegurar que las operaciones de cromado se realicen de manera segura y ambientalmente responsable, cumpliendo con los estándares establecidos para proteger tanto a los trabajadores como al medio ambiente.

Tabla 22. Legislación aplicable en plantas de cromado duro.

Estatutal
REAL DECRETO 815/2013, de 18 de octubre , por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
REAL DECRETO 100/2011, de 28 de enero , por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadores de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
LEY 34/2007, de 15 noviembre , de calidad del aire y protección de la atmósfera. (BOE núm. 275, de 16 de noviembre de 2007).
ORDEN de 18 de octubre de 1976 , sobre prevención y corrección de la contaminación atmosférica de origen industrial (BOE núm. 290, de 3 de diciembre de 1976) (Corrección de errores: BOE núm. 46, de 4 de julio de 1984).
DECRETO 833/1975, de 6 de febrero , por lo que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico (BOE núm. 96, de 22 de abril de 1975).
Autonómica (Principado de Asturias)
CIRCULAR, de 6 de mayo de 2013 , sobre medidas de emisiones
DECRETO 27/2019, de 11 de abril , de Protección y Control Ambiental Industrial en el Principado de Asturias.
LEY 5/2002, de 3 de junio , sobre vertidos de aguas residuales industriales a los sistemas públicos de saneamiento.

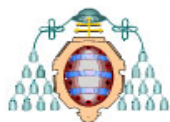


10. CONCLUSIONES

En la presente obra, el cromado duro se presenta como una técnica esencial en la mejora de las propiedades superficiales de diversos materiales, ofreciendo ventajas significativas en términos de resistencia al desgaste, corrosión y fricción. A lo largo de este trabajo, se ha demostrado que la correcta implementación del proceso de cromado duro no solo incrementa la durabilidad y el rendimiento de las piezas tratadas, sino que también contribuye a la eficiencia operativa y a la reducción de costos a largo plazo.

Cabe recalcar la importancia de un adecuado pretratamiento de las superficies y la necesidad de un control riguroso de los parámetros, contingencias y modalidades para obtener recubrimientos y acabados de alta calidad, en donde solamente se obtienen los resultados deseados si se han realizado correctamente todos y cada uno de los procesos que engloba este tratamiento.

En resumen, el cromado duro se consolida como una tecnología indispensable para múltiples aplicaciones industriales, promoviendo la innovación y la sostenibilidad en el sector del metal e industrial y sus derivados.



11. BIBLIOGRAFÍA

- [1]— E. Gillet (1965). “Manual de los usuarios de revestimientos en cromo duro”. Editores: Urmo S.A. de Ediciones, Bilbao, págs. 184.
- [2]— Vicente Massuet Grau (1957). “Cromado duro (La práctica y aplicaciones del mismo)”, 1ª edición. Editores: José Montesó, Barcelona, págs. 284.
- [3]— Hans-Georg Kellner Peschitz (1961). “Recubrimientos metálicos por vía electroquímica y química”. Versión española. Editores: José Montesó, Barcelona, págs. 227.
- [4]— Hugo Krause (1962). “Análisis y control de baños y recubrimientos en galvanotecnia”. Versión española. Editores: José Montesó, Barcelona, págs. 303.
- [5]— Enrique Julve Salvadó (2001). Artículo de Química e Industria: “Perspectiva general del cromado industrial. Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado”, N°3, págs. 19-27.
- [6]— Nicolás Larburu Arrizabalaga (1989). “Máquinas prontuario”, 13ª edición. Editores: Ediciones Parafino S.A., págs. 626.
- [7]— J.A. Cooper (1985). “Trans. Inst. Metal Finishing”, págs. 151.
- [8]— Juan D. Ordóñez Barriga , Alfredo Valarezo (30/12/2015). Artículo de Avances en Ciencias e Ingenierías: “Relaciones Proceso, Microestructura, Propiedades del Cromado Duro a Escala de Laboratorio”. Editor: Cesar Zambrano, Ph.D. págs. 11.



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

