

# Obtención de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente

## Obtaining decorative chromium plating from trivalent chromium solutions

Oscar Javier Suárez García<sup>1</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar de forma cualitativa, a escala de laboratorio, diferentes alternativas para el montaje y operación de un baño de cromo trivalente para obtener recubrimientos de cromo decorativo. Fueron empleadas soluciones de diferentes concentraciones de cromo y diversos agentes formadores de complejos. Este análisis arrojó como resultado inicial que de las soluciones compuestas de cloruros, formiatos y acetatos se obtienen los mejores resultados. Se evaluaron las condiciones de preparación de las soluciones: temperatura y tiempo de formación del complejo de cromo III; también la operación durante el proceso de recubrimiento: pH y temperatura. El trabajo experimental fue desarrollado en la empresa Alfacrom Ltda., los parámetros de evaluación fueron: apariencia del depósito de cromo y densidad mínima de corriente a la que aparece el mismo. Se evaluó la resistencia a la corrosión en cámara salina, tomando como referencia un recubrimiento de cromo hexavalente convencional; este ensayo se realizó en el laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia. Se concluyó que el recubrimiento con soluciones de cromo trivalente puede ser una alternativa viable técnica y económicamente para cambiar los procesos de cromado convencionales que son altamente tóxicos y contaminantes; sin embargo, se debe continuar la investigación para encontrar las condiciones óptimas del proceso.

**Palabras clave:** recubrimiento, cromo trivalente, complejos, procesos galvánicos.

### ABSTRACT

The present work was aimed at a qualitative evaluation, in the laboratory, of different alternatives for assembling and operating a trivalent chromium bath for decorative chromium plating. Different chromium concentration solutions and different complexing agents were used. The initial result of this analysis was that chloride, formate and acetate solutions produced the best results. Solution preparation conditions were evaluated: temperature, chromium III complex formation time and also operation during the plating process: pH and temperature. The experimental work was done in the Alfacrom Ltda company; the parameters evaluated consisted of the appearance of chromium deposit and the minimum current density at which it appeared. Resistance to corrosion was tested in a saline-spray chamber, taking conventional hexavalent chromium plating as reference. This assay was done in the Universidad Nacional de Colombia's Chemical Engineering Laboratory. It was concluded that trivalent chromium plating may represent a technical and economic alternative to conventional hexavalent chromium plating, this being a highly toxic and contaminant process. However, research should be continued into finding optimal process conditions.

**Keywords:** plating, trivalent chromium, complexing, galvanising.

Recibido: abril 17 de 2006

Aceptado: junio 7 de 2006

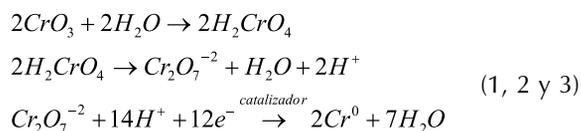
### Introducción

La galvanotecnia es una técnica que consiste en la electrodeposición de un recubrimiento metálico sobre una superficie que puede ser o no metálica. Se recomienda cuando por costos o por razones estructurales es necesario modificar las características del material base, principalmente resistencia a la corrosión, dureza, apariencia, conductividad eléctrica y rozamiento (Acercar, 2003).

Los recubrimientos pueden ser anódicos o catódicos, dependiendo de la posición de la pieza en el terminal anódico o catódico del circuito. Los recubrimientos de cromo decorativo son catódicos y se utilizan para mejorar la apariencia del material base y brindar resistencia a la corrosión en ambientes moderados. Aunque existen diferentes teorías sobre el mecanismo de reacción para la deposición del cromo hexavalente, este se puede resumir en los siguientes pasos (Snyder y Jones, 2004):

<sup>1</sup> Ingeniero químico, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Ingeniero de producción de Alfacrom Ltda. ojsjq@yahoo.com

**Reacción de deposición de cromo**

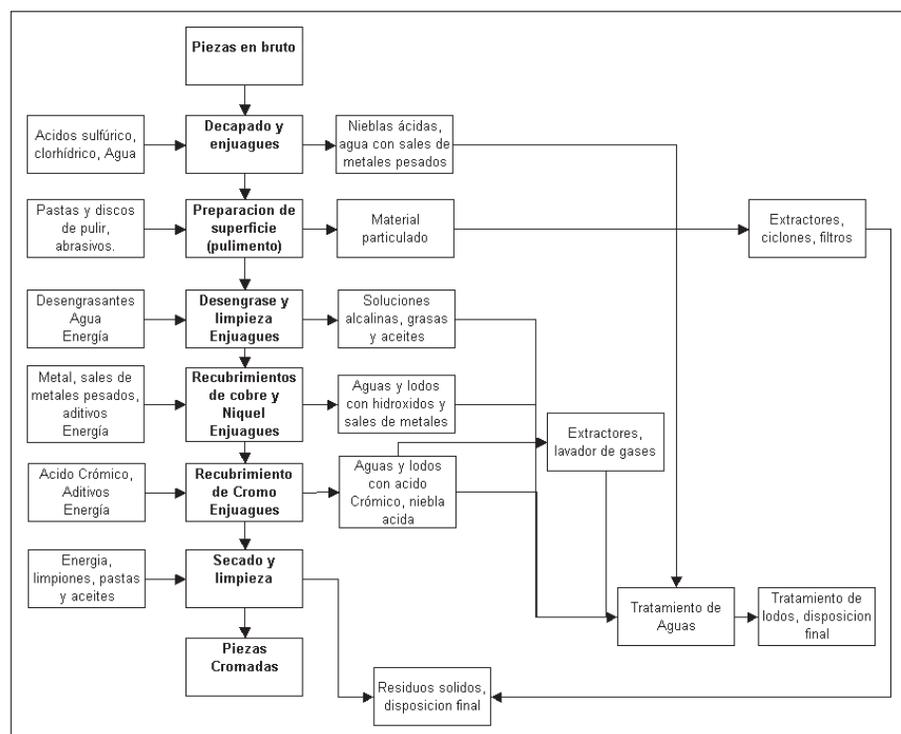


**Reacción colateral**



En Bogotá, existen aproximadamente 400 plantas galvanicas, el 13% se dedica a procesos de anodizado y preparación de superficies, las restantes realizan procesos de recubrimientos, entre ellos el cromado (Acercar, 2003).

En Colombia estos recubrimientos se emplean principalmente en autopartes, herramientas agrícolas, grifería, muebles, artefactos a gas, entre otros. El proceso convencional de cromado se presenta en la Figura 1.



**Figura 1. Diagrama de flujo para procesos de cromo decorativo**

Entre cada operación se tienen tanques con agua para lavar las piezas, así se evita contaminar la solución de la siguiente etapa; las aguas de enjuague son descartadas periódicamente, y debido a que tienen contenido de metales pesados, ácidos, álcalis y otras sustancias peligrosas, deben ser llevadas a una planta depuradora antes de ser vertidas al alcantarillado. El cromado convencional se realiza en soluciones de cromo hexavalente, que contienen entre 200–250 g/L de ácido crómico (CrO<sub>3</sub>) y 1-2 g/L de ácido sulfúrico y fluoro. Silicatos como catalizadores; estas soluciones son altamente corrosivas y presentan gran riesgo para la salud y el ambiente. Debido a la alta concentración de cromo en la solución, se pierden por arrastre en

**Tabla 1. Ventajas y desventajas de los baños de cromo hexavalente decorativo**

Ventajas	Desventajas
No se necesita control exhaustivo sobre las condiciones de operación.	Arrastre excesivo de materia prima (alta generación de residuos).
Relativamente económico para su instalación.	Altos costos para tratamiento y disposición de residuos.
Costos de operación relativamente bajos.	Emisión de vapores corrosivos y tóxicos
	Bajo peso equivalente (8.66 g/mol), baja eficiencia catódica.
	Alto deterioro de equipos auxiliares.
	Estructura física macroporosa, poca resistencia a la corrosión.
	Depósitos defectuosos por interrupciones de corriente o por aplicar excesiva corriente.

Fuente: Dubpernell, 1974; Snyder y Jones, 2004; Adaptación del autor

los enjuagues entre 50 y 100 mL de solución por cada m<sup>2</sup> de material procesado; además, por la reacción de producción de hidrogeno (Ecuación 4) se obtiene una niebla ácida con contenido de material particulado de Cr<sup>+6</sup>. Las ventajas y desventajas del proceso convencional de cromado se resumen en la Tabla 1.

Los baños de cromo trivalente se desarrollaron a partir de los años setenta como una alternativa para solucionar los problemas asociados al cromado tradicional (Snyder y Jones, 2004). En el medio industrial colombiano los procesos basados en Cr<sup>+3</sup> no son utilizados, principalmente por desconocimiento de tecnologías alternativas, lo que dificulta y encarece la implementación de procesos que pueden ser más eficientes

y que reducen la generación de residuos y peligros para el medio ambiente y la salud de los trabajadores. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar de forma cualitativa y a escala de laboratorio, diferentes alternativas para el montaje y operación de un baño de cromo trivalente para recubrimientos de cromo decorativo, y de esta manera tener un primer acercamiento a esta tecnología con fines de una posible aplicación industrial.

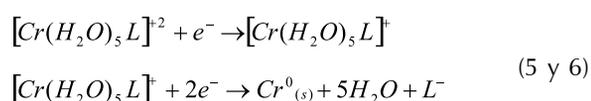
**Características de procesos de cromo trivalente**

Las principales ventajas de los recubrimientos a partir de cromo trivalente son: 1) baja viscosidad por una menor concentración de cromo, lo que disminuye pérdidas por

arrastre de materia prima, 2) menor toxicidad del proceso, 3) el peso equivalente es el doble que el del ión  $\text{Cr}^{+6}$ , es decir, se obtiene mayor eficiencia catódica, 4) la microestructura del depósito que se obtiene da mayor resistencia a la corrosión y 4) es completamente tolerante a interrupciones de corriente durante el proceso (Dahlhaus, 2005; Snyder y Jones, 2004; Song y Chin, 2002). Sin embargo, el cromo metálico no se puede obtener directamente a partir de una solución de sulfato o cloruro de cromo III, ya que el cromo forma complejos estables e inertes con los iones  $\text{OH}^-$  y  $\text{Cl}^-$ , y también óxidos que interfieren en la reacción catódica, el cromo debe formar un complejo con un compuesto que libere fácilmente el ion  $\text{Cr}^{+3}$  y de esta manera se produzca la reducción a  $\text{Cr}^0$  (Song y Chin, 2002).

Los formadores de complejos de cromo trivalente comúnmente empleados son: hipofosfito de sodio y glicina, también otros quelantes como ácidos carboxílicos o sus sales, urea, tiourea, tiocianatos y dimetilformamida, entre otros (Barclay, 1977; Barelay, 1981; Benahen, 1986; Bernard y Barnes, 1977; Ward y Barnes, 1979); la formación de los complejos de cromo trivalente no ocurre de manera instantánea, sino que se debe dar un tiempo de reacción hasta lograr el equilibrio; la formación del complejo y por tanto la calidad del recubrimiento de cromo, dependen del pH, temperatura y tiempo de la reacción de complejación. El pH de la solución debe estar entre 2-4 unidades (Bernard y Barnes, 1977), a bajas temperaturas la reacción puede tardar hasta dos meses en llegar al equilibrio (Szyncarzuk *et al.*, 1988 y Szyncarzuk, Drella, y Kubicki, 1989), mientras que a temperaturas más altas, del orden de  $90^\circ\text{C}$  o más, el tiempo se puede reducir considerablemente (Bernard y Barnes, 1977).

Bernard y Barnes (1977) han estudiado baños de cromo trivalente con sulfatos o cloruros, con una concentración de 200-250 g/L de sal de cromo y 100 g/L de hipofosfito de sodio de los que se obtuvo recubrimiento brillante en el intervalo de 1.2-35 A/dm<sup>2</sup>, y con 100g/L de urea el depósito brillante aparece de 8-40 A/dm<sup>2</sup>. Por su parte, Song y Chin (2002) han empleado soluciones más diluidas de 60 g/L de Cloruro de cromo (III), empleando 28 g/L de formiatos y 12g/L de acetatos, obteniendo también superficies cromadas, y se ha comprobado experimentalmente que los agentes formadores de complejo participan activamente en las reacciones de reducción de  $\text{Cr}^{+3}$  (Song y Chin, 2002; Szyncarzuk *et al.*, 1988, y Szyncarzuk, Drella, y Kubicki, 1989) según el siguiente mecanismo:



En estas soluciones se deben adicionar otros componentes para mejorar propiedades como estabilidad, conductividad, tensión superficial, entre otras (Barclay,

1977; Barelay, 1981; Benahen, 1986; Bernard y Barnes, 1977; Ward y Barnes, 1979).

### Resistencia a la corrosión

Los depósitos de cromo a partir de soluciones de  $\text{Cr}^{+3}$  poseen una estructura microporosa (Dahlhaus, 2005 y Snyder y Jones, 2004) que aumenta la resistencia a la corrosión al disminuir la relación área catódica / área anódica en los pares galvánicos Cr/Ni, Cr/Fe, y Ni/Fe que se presentan en una superficie cromada y que son en gran medida responsables de la aparición de manchas de óxido.

Los depósitos de cromo hexavalente pueden ser también microporosos, pero con un tratamiento previo de la superficie durante el niquelado que puede incluir dos o más capas de níquel, con aditivos que permiten la aparición de la estructura (Dahlhaus, 2005), sin embargo, este proceso implica el montaje de instalaciones extras que aumentan los costos de producción.

### Cromo trivalente en el mercado

En el mercado internacional existen empresas que distribuyen actualmente productos para el montaje de baños de cromo trivalente; las condiciones varían según el tipo de piezas y el uso de las mismas. Los intervalos de operación son (Atotech, 2004; Enthone Inc., 2003, y Mc Dermid, 2004):

Temperatura: 25-45°C

Densidad: 1.16-1.21 g/cm<sup>3</sup> (20-25°Be)

Corriente catódica: 3-20 A/dm<sup>2</sup>

Relación Ánodo: cátodo = 2:1

pH: 2.5-3.4

Cromo trivalente: 4.5-25 g/L

Tiempo de proceso: 30 segundos a 6 minutos

Agitación: con aire o mecánica

Para velocidades de reacción altas se recomiendan grandes temperaturas, para cromado en bajas densidades de corriente se prefieren valores altos de pH (Atotech, 2004 y Enthone, 2003). Los productos para el montaje y la asesoría para la operación de estos baños se deben importar, el costo comparativo para un tanque de 1500 Litros se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Costo\* para el montaje y operación de un baño de 1500L de  $\text{Cr}^{+6}$  y  $\text{Cr}^{+3}$

Item	Cromo VI	Cromo III
Montaje inicial**	\$3.000.000	\$15.000.000
Mantenimiento /día**	\$14.000	\$120.000
Tratamiento de residuos /día***	\$7.000	\$2.000

\*Costos evaluados en Alfacrom Ltda. En base a datos suministrados por Mc Dermid Inc.

\*\*Únicamente valor de insumos químicos, no incluye costo de energía, ni instalación de tanques, líneas de conducción, ánodos y otros.

\*\*\*Únicamente costo de insumos químicos, no incluye personal, equipos ni disposición final.

Por los elevados costos de la implementación de esta tecnología con materias primas importadas se presenta la necesidad de experimentar con procesos de cromo III que reúnan las características de calidad, protección y costo para competir en el mercado nacional de los recubrimientos decorativos.

### Desarrollo experimental

Debido a la posibilidad de variar componentes en los baños de Cr<sup>+3</sup> a evaluar se estableció un procedimiento experimental (ver Figura 2) general en el cual se pudieran cambiar los diferentes insumos y descartar alternativas que no cumplan con los requisitos determinados para cada etapa.

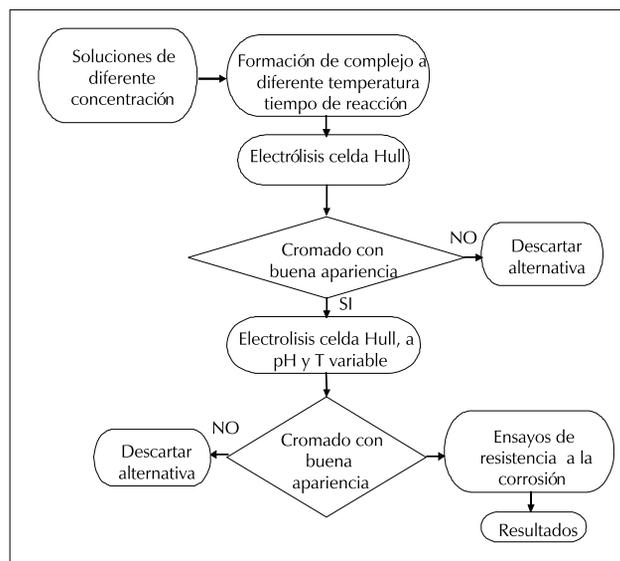


Figura 2. Procedimiento experimental para evaluación de soluciones de cromo III

Para la preparación de soluciones se emplearon reactivos grado técnico (ver Tabla 3) de uso industrial común y de fácil consecución en almacenes de productos químicos.

Tabla 3. Reactivos químicos empleados en el desarrollo experimental

<b>Acomplejantes</b>	Urea, formiato y acetato de sodio
<b>Buffer</b>	Acido Bórico
<b>Sales conductoras</b>	Sulfatos y cloruros desodio y amonio
<b>Sal de cromo</b>	Sulfato básico de cromo (materia prima empleada en curtiembres)
<b>Para ajustar pH</b>	Ácidos clorhídrico y sulfúrico, Hidróxidos de sodio y amonio.

Los ensayos se realizaron en una celda Hull de 277 mL con control de temperatura, un rectificador de corriente con capacidad para 20 amperios y 10 voltios. Los cátodos fueron placas de acero HR con una superficie sumergida de 0.5dm<sup>2</sup>. Estas fueron previamente niqueladas en un baño tipo Watts, bajo las condiciones presentadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones para Niquelado previo de placas

NiSO <sub>4</sub>	280 g/L
NiCl <sub>2</sub>	60 g/L
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	40 g/L
Base para Níquel	20 mL/L
Abrillantador para Níquel	3 mL/L
Anodos	Níquel electrolítico
Temperatura	55-60 °C
pH	4.5
Densidad de corriente catódica	2 A/dm <sup>2</sup>
Tiempo	10 min

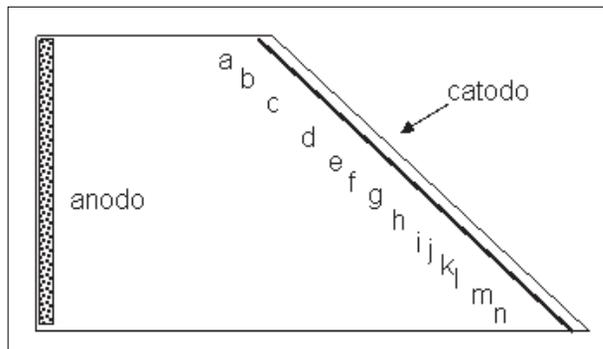


Figura 3. Esquema celda Hull, distribución de puntos de densidad de corriente sobre el cátodo. Fuente: Pletcherl Derek, 1991, pp. 391, Adaptación del autor

Debido a que en la celda de Hull la densidad de corriente en el cátodo varía con la distancia al ánodo, la determinación de densidad en que se obtiene el recubrimiento de cromo se realizó basándose en las convenciones de la Figura 3 y la Tabla 5.

Tabla 5. Distribución de densidad de corriente en placa de celda Hull

Corriente aplicada (A)	Densidad de corriente A/dm <sup>2</sup>													
	Posición en la placa de la celda Hull													
	A	b	c	d	e	F	g	h	i	j	k	l	m	n
4	15	12	9	6	4,5	3,75	3	2,25	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0,15
5	20	16	12	8	6	5	4	3	2	1,6	1,12	0,8	0,4	0,2
6	25	20	15	10	7,5	6,25	5	3,75	2,5	2	1,5	1	0,5	0,25

Fuente: Pletcherl Derek, 1991, pp 391, Adaptación del autor

### Preparación de cloruro de cromo

Se preparó una solución de 330 g/L de sulfato básico de cromo, el pH se ajustó a un valor de 7,0, al que se precipitó el cromo como hidróxido; el sólido se separó por sedimentación y se lavó varias veces hasta que la densidad del agua de lavado fue de 1.02 g/mL; por último, se adicionó ácido clorhídrico al 37% p/v, hasta disolución total del hidróxido. Se obtuvo una solución de cloruro de cromo de densidad 1.10 g/mL que corresponde a una concentración aproximada de 110 g/L de CrCl<sub>3</sub> (Perry, *Chemical Engineering's Handbook*, pp 2-100).

### Soluciones de cromo III

Se prepararon soluciones de diferente composición (ver Tabla 6); en esta etapa se buscó seleccionar la solución de la cual se obtuviera el recubrimiento de mejor apariencia.

**Tabla 6. Composición de las soluciones empleadas para escoger el formador de complejo**

Composición de Solución N°							
1		2		3		4	
Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L	Composición g/L
Cr(SO <sub>4</sub> )(OH)	80	Cr(SO <sub>4</sub> )(OH)	75	Cr(SO <sub>4</sub> )(OH)	150	CrCl <sub>3</sub>	65
Urea	40	HCOONa	27	Urea	100	HCOONa	27
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> *	16	CH <sub>3</sub> COONa	17	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> *	40	CH <sub>3</sub> COONa	17
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )*	60	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> *	40	NH <sub>4</sub> Cl*	100	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> *	40
		(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )*	140			NH <sub>4</sub> Cl*	13
		NaSO <sub>4</sub> *	40			NaCl*	18
pH=3.0		pH=2.7		pH=3.1		pH=2.3	

\*Se adicionaron después de la formación del complejo

### Formación de complejos

Para cada tipo de solución se probaron diferentes tiempos y temperaturas de formación de complejos (ver Tabla 7) para su evaluación. Se prepararon volúmenes de 300mL, se ajustó la temperatura, y en ese momento se adicionó el formador de complejo; la temperatura se mantuvo en un intervalo de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  con agitación intermitente. Después de finalizado el tiempo de reacción determinado para cada una, se adicionaron los demás componentes.

**Tabla 7. Condiciones de temperatura y tiempo de formación de complejos**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	
	30	60
30	A	B
180	C	D

### Electrólisis

La deposición de cromo se realizó inicialmente a  $40^{\circ}\text{C}$  con una densidad de corriente catódica promedio de  $10\text{A}/\text{dm}^2$  durante 30 segundos, sin modificar el pH de cada solución. Como ánodo se empleo grafito.

### Estudio de condiciones para cromado

Después de escoger la solución y mejores condiciones de formación de complejo, se preparó solución nueva y se variaron las condiciones de pH y temperatura para la electrólisis de cromo como se muestra en la Tabla 8, la densidad de corriente se mantuvo en  $10\text{A}/\text{dm}^2$ .

**Tabla 8. Variación de condiciones para electrólisis**

pH	Temperatura (°C)	
	25	40
2.0	I	II
3.0	III	IV

### Resistencia a la corrosión

A fin de comparar la resistencia del cromado convencional con el cromado en estudio, se escogieron las

mejores condiciones para preparar un baño de 20 litros, se cromaron placas de  $10\times 10\text{ cm}$  en las condiciones de operación presentadas en la Tabla 9 y se realizó la evaluación de la resistencia a la corrosión en cámara salina (prueba realizada por el Laboratorio de Electroquímica y Corrosión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia).

## Resultados y análisis

### Formación de complejos

Los resultados se presentan en la Tabla 10. A temperaturas de  $60^{\circ}\text{C}$  y 180 minutos de reacción se obtuvieron los mejores resultados para cada una de las soluciones. A tiempos cortos y bajas temperaturas únicamente se obtuvieron depósitos manchados para la solución 1 (Figura 4). Para las soluciones 2, 3 y 4 no hubo superficie cromada a estas condiciones, lo que evidencia la estabilidad de los complejos inorgánicos, en especial en soluciones con contenido de cloruros (solución 3D, Figura 7).

**Tabla 9. Condiciones para recubrimientos de níquel y cromo para ensayo de cámara salina**

	Niquelado	Cromo III	Cromo VI
Temperatura °C	55	30	35
Densidad de corriente promedio	2.5	7	20
PH	5.0	3.5	<1
Tiempo	20 min	60 seg	20 seg

El depósito de cromo se observa manchado para todas las soluciones con contenido de urea (figuras 5 y 6); estas manchas pueden deberse a la deposición de óxidos de  $\text{Cr}^{+2}$  y  $\text{Cr}^{+3}$ , o por la presencia de Cromo<sup>+3</sup> sin acomplejar; para la solución 2D que contiene sulfatos, formiato y acetato (Figura 6) se observa la presencia de un recubrimiento pero únicamente en zonas de alta densidad de corriente ( $>8\text{A}/\text{dm}^2$ ), lo que disminuye la posibilidad de su uso en una aplicación industrial ya que restringe el uso a piezas con geometrías regulares. Para la solución 4D que contiene cloruros, formiato y acetato (Figura 8) se obtuvo el mejor recubrimiento, este aparece desde zonas de media densidad de corriente ( $5\text{ A}/\text{dm}^2$ ) y no presenta manchas en la alta densidad de corriente. Se optó entonces por emplear esta solución para el estudio de las condiciones de cromado.

### Efecto del pH y temperatura

Los resultados se presentan en la Tabla 11. Se encontró que para las soluciones 4D I y 4D II (figuras 9 y 10), que tienen los valores más bajos de pH, el área de superficie cromada se restringe a los valores de alta densidad de corriente ( $>8\text{ A}/\text{dm}^2$ ), mientras que a valores altos de pH se el área cromada aumenta (figuras 11 y 12); esto coincide con lo reportado en la literatura, sin embargo, el aumentar la temperatura no presenta ventajas ya que el intervalo de cromado disminuye levemente y el recubrimiento se

Tabla 10. Resultados formación de complejos

Solución	Formación de complejo	Observaciones
1	A (Figura 4)	Mancha color oscuro de 5-10 A/dm <sup>2</sup>
	B	Mancha color oscuro de 5-20 A/dm <sup>2</sup> , cromado opaco de 20-25 A/dm <sup>2</sup>
	C	Cromado opaco de 10-20 A/dm <sup>2</sup> , manchado de 20-25 A/dm <sup>2</sup>
	D (Figura 5)	Mancha color oscuro de 5-15 A/dm <sup>2</sup> , cromado opaco de 15-25 A/dm <sup>2</sup>
2	A	No se observa recubrimiento
	B	No se observa recubrimiento
	C	No se observa recubrimiento
	D (Figura 6)	Cromado desde 8-20 A/dm <sup>2</sup> , manchado de 20-25 A/dm <sup>2</sup>
3	A	Aparece hidróxido de cromo en 20-25 A/dm <sup>2</sup>
	B	No se observa recubrimiento
	C	Aparece hidróxido de cromo en 20-25 A/dm <sup>2</sup>
	D (Figura 7)	Manchas oscuras en 5 y en 20 A/dm <sup>2</sup>
4	A	No se observa recubrimiento
	B	No se observa recubrimiento
	C	No se observa recubrimiento
	D (Figura 8)	Cromado brillante desde 5-25 A/dm <sup>2</sup>

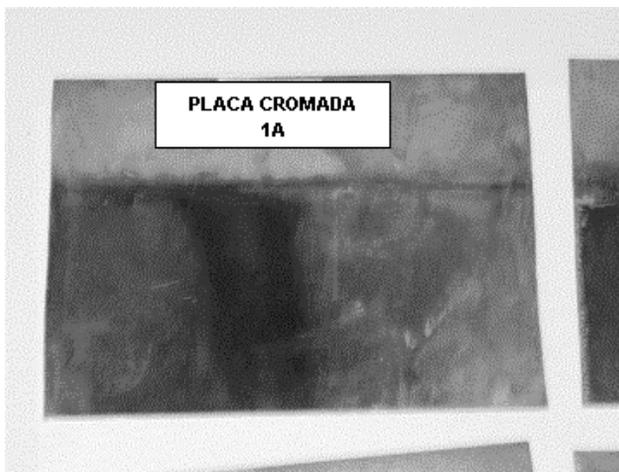


Figura 4. Placa cromada solución 1A

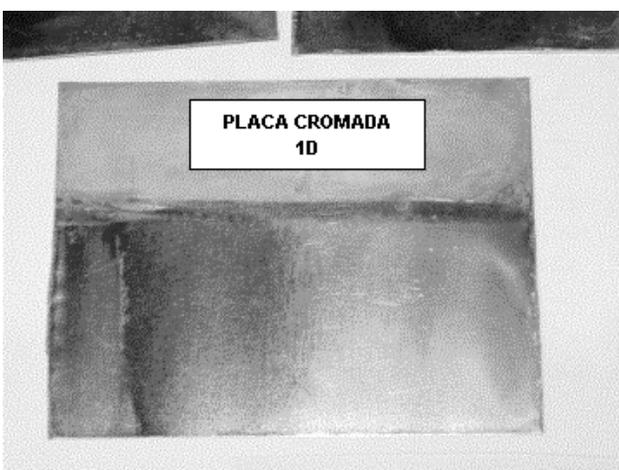


Figura 5. Placa cromada solución 1D

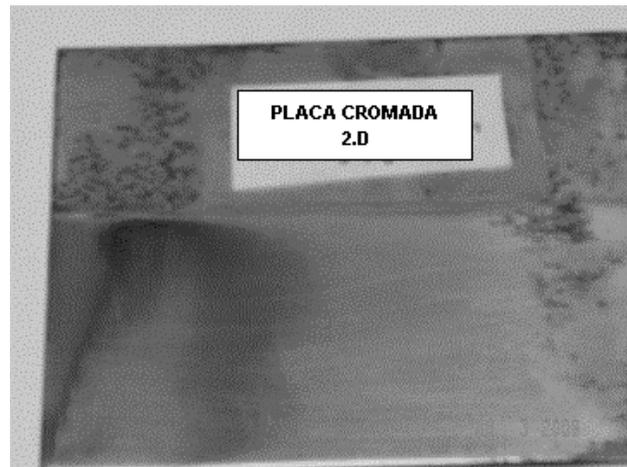


Figura 6. Placa cromada solución 2D



Figura 7. Placa cromada solución 3D



Figura 8. Placa cromada solución 4D

presenta manchado en la alta densidad de corriente (Figura 12). Se escogieron las condiciones de baja temperatura y alto pH para realizar el ensayo de resistencia a la corrosión.

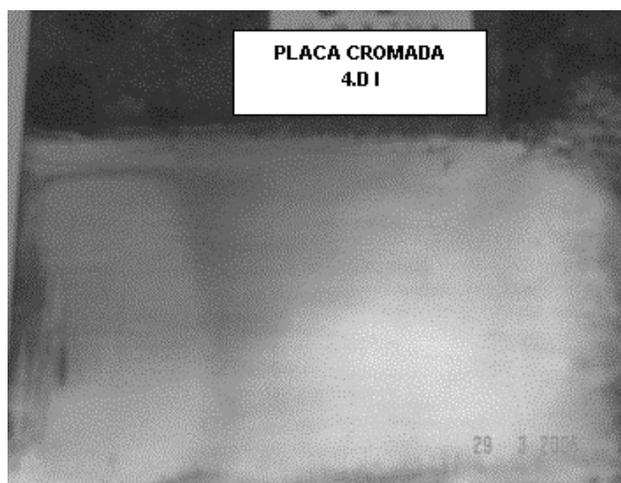


Figura 9. Placa cromada solución 4D I

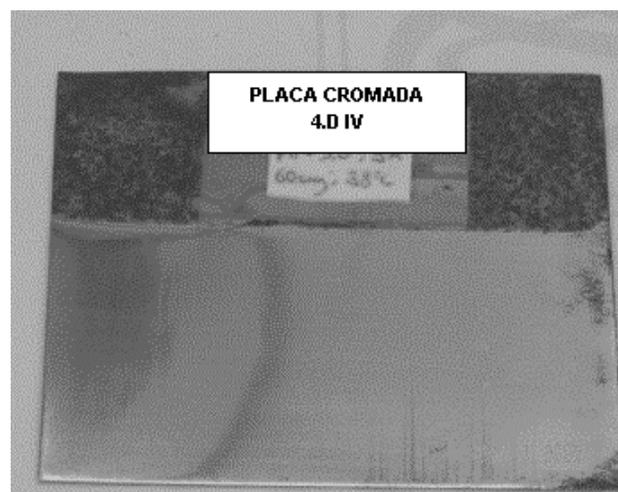


Figura 12. Placa cromada solución 4D IV

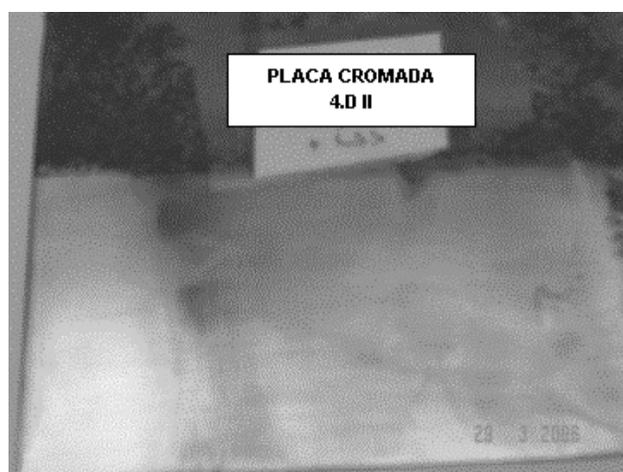


Figura 10. Placa cromada solución 4D II

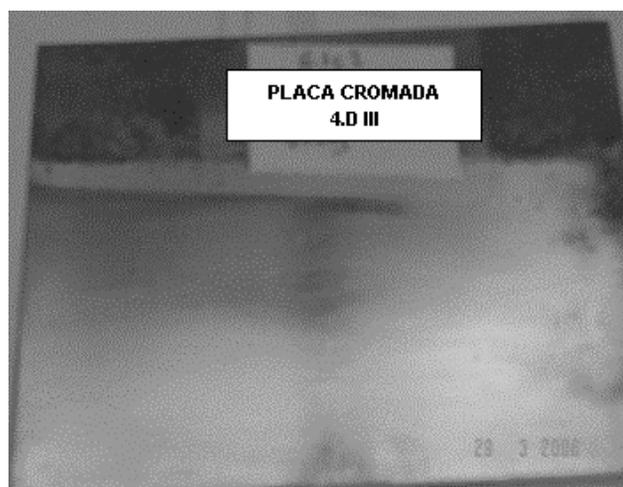


Figura 11. Placa cromada solución 4D III

### Resistencia a la corrosión

Los resultados se presentan en la Tabla 12; se observa un mayor deterioro del recubrimiento obtenido a partir de

Tabla 11. Resultados para estudio de condiciones de operación

Solución	Condiciones de cromado	Observaciones
1D	I (Figura 9)	Cromado brillante de 8-25 A/dm <sup>2</sup>
	II (Figura 10)	Cromado brillante de 10-25 A/dm <sup>2</sup>
	III (Figura 11)	Cromado brillante de 5-25 A/dm <sup>2</sup>
	IV (Figura 12)	Cromado brillante de 7.5-20 A/dm <sup>2</sup> , manchado en alta 25 A/dm <sup>2</sup>

romo trivalente (Figura 13), este resultado no concuerda con lo reportado en la literatura lo cual quiere decir que aunque se obtienen recubrimientos de buena apariencia, las condiciones no son las óptimas para obtener la máxima resistencia a la corrosión.

### Conclusiones y trabajos futuros

Se obtuvieron recubrimientos de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente, lo cual indica que esta tecnología es una alternativa para mejorar los problemas asociados al proceso de cromado tradicional; el cloruro de cromo acomplejado con formiato y acetato de sodio aparece como la mejor alternativa pues permite obtener recubrimientos brillantes en un intervalo amplio de corriente, con bajas densidades de corriente y con una baja concentración de cromo metálico en la solución, esto es importante para disminuir la pérdida de materia prima por arrastre a los enjuagues; de igual manera, se disminuye la generación de residuos y el consumo de energía en comparación al proceso de cromo hexavalente.

En estos baños a valores bajos de pH se reduce el intervalo de cromado, mientras que a alta temperatura el recubrimiento aparece defectuoso. Las mejores características de apariencia del recubrimiento se obtuvieron a valores altos de pH (3,0 unidades) y temperatura de 30°C,



Figura 13. Placas cromadas después de 100 horas de cámara salina, a la derecha recubrimiento de cromo VI, a la izquierda recubrimiento de cromo III

lo cual es un indicio para una futura evaluación de las condiciones óptimas en una aplicación industrial, ya que es necesario continuar la investigación para optimizar el proceso. Los recubrimientos obtenidos a partir de soluciones de sulfatos o urea no tienen buenas características, ya que aparecen manchados y en restringidos intervalos de densidad de corriente.

El recubrimiento de cromo convencional presentó mayor resistencia a la corrosión en cámara salina, lo que indica que las condiciones de trabajo del baño de cromo trivalente en estudio, ya sea formación de complejo, concentración de componentes o condiciones durante el cromado, no son las óptimas para alcanzar la máxima efectividad del recubrimiento.

Los costos de insumos químicos para un baño de 1 500 litros con la formulación escogida son de \$1.500.000 aproximadamente, siendo menor que el costo de un baño de cromo hexavalente del mismo tamaño, y aunque no se han determinado las adiciones de materia prima para una producción dada, se estima que el costo no debe ser tan elevado como el presentado para una solución de  $Cr^{+3}$  importada; esto, junto con una disminución en el costo de tratamiento de residuos, hace económicamente viable la alternativa de cambio al proceso de cromo trivalente.

Tabla 12. Resultados de ensayo de cámara salina (tomado de informe 016-2005, Laboratorio de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia)

<i>t(horas)</i>	<i>Observaciones</i>
<b>Cromo VI (placa 7)</b>	
24	puntos de ataque corrosivo en el 20% del área expuesta
48	puntos de ataque corrosivo en el 60% del área expuesta
72	puntos de ataque corrosivo en el 75% del área expuesta
100	puntos de ataque corrosivo en el 75% del área expuesta
<b>Cromo VI (placa 8)</b>	
24	Deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
48	quince puntos de ataque corrosivo en el área interna, deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
72	Ataque corrosivo en el 10% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
100	Ataque corrosivo en el 20% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
<b>Cromo III (placa 13)</b>	
24	Ataque corrosivo en el 60% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
48	Ataque corrosivo en el 60% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
72	Ataque corrosivo en el 70% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
100	Ataque corrosivo en el 70% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
<b>Cromo VI (placa 14)</b>	
24	Ataque corrosivo en el 40% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 80% del área expuesta
48	Ataque corrosivo en el 80% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
72	Ataque corrosivo en el 80% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 90% del área expuesta
100	Ataque corrosivo en el 80% del área expuesta, deterioro del recubrimiento en el 100% del área expuesta

Se recomienda profundizar en esta investigación empleando técnicas como voltimetría, coulometría o espectrometría de impedancia, para evaluar las propiedades del recubrimiento a diferentes condiciones de obtención (concentración, formación de complejo y cromado). Es además recomendable determinar las adiciones de insumos químicos según la producción, así como el costo de tratamiento de los residuos producidos por este proceso, para poder realizar un análisis de costos completo y hacer una evaluación de factibilidad económica para el cambio de proceso.

### Agradecimientos:

El autor expresa sus agradecimientos al ingeniero Alfonso Leyva Santacoloma, gerente general de Alfacrom Ltda.; al ingeniero Diego Camilo Mancipe, Msc. Universidad de Salamanca; y a todo el personal de Alfacrom Ltda.

### Bibliografía

- ACERCAR Industria, Planes de acción para mejoramiento ambiental GALVANOTECNIA., 2003.
- Atotech USA Inc., Tri-chrome PLUS, Trivalent chromium plating process., Technical data sheet., 2004.
- Barclay, D. J. y Morgan, W., Electrodeposition of Chromium., United States Patent 4 062 737, Diciembre, 1977.

Barclay, D. J., Vigar J. M.L., Low concentration trivalent chromium electroplating solution and process., United States Patent 4 278 512., Julio 1981.

Benahen, P., y Tardy, R., Chromium electroplating trivalent chromium bath therefore and method of making such bath., United States Patent 4 612 091, Septiembre 1986.

Bernard, J. J. y Barnes C., Trivalent chromium plating bath., Patent Specification 1 488 381, Londres, 12 Octubre, 1977.

Dahlhaus, M., Calculating Corrosion., Products finishing, ENTHONE Germany, 2005.

Denis, A. J., Principles and Prevention of Corrosion., Mc Millan Publishing company, 1992.

Dubpernell, G., Chromium modern electroplating., Jhon Wiley & Son Inc, 1974.

ENTHON Inc., .Triclolyte IV, Trivalent Chromium Process., Technical data sheet, 2003.

Mc Dermid Inc., .Trimac Envirochrome III, Decorative trivalent chromium., Technical data sheet, 2004.

Perry., Chemical Engineering´s Handbook., 7 ed, Mc Graw Hill, 1999.

Pletcher, D., Industrial Electrochemistry., Chapman and Hall., 1991.

Shanin, G. E., Functional plating from solutions containing trivalent chromium ion., United States Patent 5 294 326., Marzo, 1994.

Snyder, D. y Jones, R., Decorative and Functional Trivalent Chromium electroplating., Atotech USA, Suffice Finished, 2004.

Song, Y. B., Chin, D.T., Current efficiency and polarization behaviour of trivalent chromium electrodeposition process., Electrochimica Acta, Vol 48, 2002, pp 349-356.

Szyncarzuk, J., Drella, I. y Kubicki J., Electrochemical behaviour of chromium III in the presence of formica acid – I., Electrochimica Acta, Vol 34, No 3, 1989, pp 399-403.

Szyncarzuk, J., Drella, I., Kubicki J., Electroreduction of chromium (III)-acetate complex to metallic chromium on the copper electrode., Electrochimica Acta, Vol 33, No 4, 1988, pp 589-592.

Ward, J. y Barnes C., Trivalent chromium plating baths., United States Patent 4 157 945, Junio, 1979.

#### GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA - EMC-UN



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ  
FACULTAD DE INGENIERÍA

El Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética EMC-UN fué creado en el año 1992 a partir del Grupo de Investigación en Alta Tensión. Durante estos 14 años el grupo ha desarrollado proyectos en varias áreas de investigación entre las que se encuentran estudios de protección de transformadores, estudios teóricos y experimentales acerca de la descarga en gases, estudios de electrodos flotantes en el campo eléctrico, estudios para la protección del personal de empresas del sector eléctrico y estudios de compatibilidad electromagnética en el área de antenas. El Grupo ha mantenido una estrecha relación con el sector productivo, realizando proyectos de investigación para resolver problemas específicos de empresas como: La Empresa de Energía de Cundinamarca, La Empresa de Energía de Bogotá, CODENSA e ISA, entre otras.

El Grupo tiene múltiples publicaciones de carácter Nacional e Internacional, tres patentes en USA y una en trámite a nivel Nacional; sus integrantes han sido galardonados con diferentes premios y reconocimientos a su trabajo, uno de los más recientes es el otorgado por la fundación Angel Escobar.

#### Líneas de investigación

Compatibilidad electromagnética: antenas  
Electrodos flotantes en el campo eléctrico  
Estudios de exposición de seres vivos.  
Estudios de rayos como fuente de interferencia electromagnética  
Física de la descarga en gases Materiales Aislantes higroscópicos  
Protección contra sobretensiones  
Sistemas de Puesta a Tierra  
Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Tel: (57 1)3165000 ext 11203 y 11206.

#### Sector de aplicación

Asesoramiento y consultoría en arquitectura e ingeniería Construcción civil Desarrollo de nuevos materiales Desarrollo de programas (software) Ensayos de materiales y productos; análisis de calidad Fabricación de material electrónico básico Fabricación de máquinas, aparatos y materiales eléctricos Fabricación de otros aparatos e instrumentos de medida, test y control, exceto equipos para control de procesos industriales Producción y distribución de energía eléctrica

**Mayor información:** Ph.D. Francisco José Román Campos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.. e-mail: [emc\\_fibog@unal.edu.co](mailto:emc_fibog@unal.edu.co). Página Web: <http://www.emc-un.unal.edu.co/>