ESTUDIO TÉCNICO DE SISTEMAS DE GALVANOPLASTIA SOBRE HIERRO

Análisis de Configuración de Capas: Desde Sistemas Bicapa hasta Sistemas Multicapa de Alta Resistencia

1. Introducción y Contexto Técnico

El diseño de un sistema de galvanoplastia decorativa sobre hierro requiere balancear dos propiedades críticas y frecuentemente contrapuestas: la calidad estética de la terminación (brillo espejo y nivelación de rugosidades) y la resistencia a la corrosión a largo plazo en ambientes severos. A continuación, se evalúan cuatro sistemas convencionales junto con la combinación de cobre y Bi-Níquel, utilizada para piezas de exterior en la industria automotriz y náutica.

2. Matriz Comparativa de los 5 Sistemas

Sistema / Estructura de Capas	Nivelación y Brillo (Estética)	Resistencia a la Corrosión	Flexibilidad y Ductilidad Mecánica	Complejidad y Costo de Planta
1. Tricapa Tradicional **Hierro → Cu Alcalino → Cu Ácido → Ni Brillante → Cromo**	Muy Alta (Espejo). El cobre ácido rellena las microrrayas del metal base.	Alta. Barrera física eficaz (efecto sello), pero propensa a fallar por picaduras verticales (pitting).	Muy Buena. El cobre es dúctil y absorbe las tensiones del níquel.	Alto. Línea de 4 cubas principales. Gestión de cianuros en el cobre alcalino.
2. Alternativa sin Cianuro **Hierro → Ni Previo (Strike) → Cu Ácido → Ni Brillante → Cromo**	Alta. Similar al Sistema 1, aunque el níquel previo no aporta nivelación inicial.	Alta. Buena protección por barrera; el níquel previo añade ligera rigidez estructural.	Buena. El cobre compensa las tensiones del níquel previo y brillante.	Alto. Requiere control riguroso de lavados para evitar contaminación entre cubas.
3. Bicapa Económico **Hierro → Ni Brillante → Cromo**	Baja. Copia cada raya del hierro base. Requiere un pulido mecánico muy cuidado.	Muy Baja. Cualquier poro permite una vía directa al hierro. Corrosión galvánica rápida.	Baja. El níquel brillante grueso acumula tensiones internas y tiende a agrietarse.	Bajo. Línea de producción corta, rápida y económica.
4. Bi-Níquel (Dúplex) **Hierro → Ni Semibrillante → Ni Brillante → Cromo**	Media a Alta. El semibrillante ayuda a nivelar, pero no rellena defectos como el cobre.	Muy Alta (Galvánica). La diferencia de potencial desvía la corrosión horizontalmente.	Buena. El níquel semibrillante es blando, columnar y de bajas tensiones.	Medio. Dos cubas de níquel químicamente compatibles.
5. Cobre + Bi-Níquel **Hierro → Cu Alcalino → Cu Ácido → Ni Semibrillante → Ni Brillante → Cromo**	Muy Alta. Nivelación del cobre combinada con el brillo del níquel.	Muy Alta, la mayor de los cinco. Suma la barrera del cobre al desvío galvánico horizontal del Bi-Níquel.	Muy Buena. Base dúctil de cobre + níquel semibrillante, que reduce el riesgo de cuarteado.	Muy Alto. 5 cubas galvánicas principales, análisis de laboratorio frecuentes y control con Step Test.

3. Fundamentos Técnicos

La Diferencia entre el Níquel Previo y el Níquel Semibrillante

Un error común en planta es confundir el 'strike' o níquel previo del Sistema 2 con la primera capa del Bi-Níquel. El níquel previo es una capa muy delgada (1-2 micrones) depositada desde un baño altamente ácido, con escaso o nulo contenido de aditivos orgánicos, cuya función es actuar como puente de adherencia. El níquel semibrillante, en cambio, constituye el grueso del depósito (65-75% del espesor del níquel, 15-25 micrones), se formula a pH balanceado y se compone típicamente con aditivos libres de azufre o con contenido mínimo de azufre.

Conservación del Brillo del Cobre Ácido

En el Sistema 5, el ingreso del níquel semibrillante (satinado) no atenúa el espejo del cobre ácido. Al depositarse sobre la superficie nivelada por el cobre, el semibrillante reproduce esa planeidad. Luego, la capa final de níquel brillante (25-35% del espesor, con abrillantadores azufrados) aporta el brillo de terminación.

4. Referencias Industriales y Normativas

Los recubrimientos multicapa de cobre, níquel y cromo se especifican según normas como ASTM B456 e ISO 1456, que establecen los requisitos de cada sistema en función de la severidad de las condiciones de servicio. La diferencia de potencial entre las capas de níquel se verifica mediante el Step Test.

Aplicaciones: Paragolpes y parrillas de vehículos pesados, piezas de restauración automotriz y herrajes náuticos expuestos a la intemperie.

5. Tri-Níquel y Níquel Microporoso

Sobre la base del Bi-Níquel existen dos mejoras para servicio severo. Son tecnologías distintas y pueden aplicarse por separado o combinadas.

Tri-Níquel: Capa Intermedia de Alto Azufre

Se intercala una capa muy delgada de níquel con alto contenido de azufre **entre** el semibrillante y el brillante. Es la capa electroquímicamente más activa del sistema: cuando la corrosión atraviesa el brillante, ataca preferentemente esta capa y en forma lateral. Actúa así como capa de sacrificio, que retrasa la llegada de la corrosión al semibrillante y al metal base. Su diferencia de potencial también se verifica mediante el Step Test.

Secuencia: Ni Semibrillante → Ni Alto Azufre → Ni Brillante → Cromo.

Níquel Microporoso: Capa Previa al Cromo

Es una capa muy delgada de níquel, depositada desde un baño con partículas inertes no conductoras en suspensión, que se aplica **sobre** el níquel brillante, inmediatamente antes del cromado. Como el cromo no se deposita sobre esas partículas, queda con miles de microporos distribuidos en forma uniforme (cromo microporoso). La corrosión se reparte entonces en muchos puntos de ataque mínimos en lugar de concentrarse en pocos, y su avance hacia el metal base es más lento.

Según la base sobre la que se aplique, es la tercera capa de níquel (sobre Bi-Níquel) o la cuarta (sobre Tri-Níquel). Por eso, en catálogos y especificaciones pueden aparecer nombres como 'tri-níquel microporoso' para secuencias distintas, y conviene verificar a cuál se refiere cada proveedor.

Sobre Bi-Níquel: Ni Semibrillante → Ni Brillante → Ni Microporoso → Cromo.

Sobre Tri-Níquel: Ni Semibrillante → Ni Alto Azufre → Ni Brillante → Ni Microporoso → Cromo.

No debe confundirse con el cromo microfisurado, que dispersa la corrosión mediante una red de microfisuras y se obtiene por otro camino.

Aplicación: ambas mejoras extienden la vida útil del sistema en condiciones de servicio severo y muy severo (SC4 y SC5 según ASTM B456): piezas automotrices de exterior, herrajes náuticos, grifería de exterior y piezas en atmósferas industriales corrosivas. También pueden aplicarse sobre la base de cobre del Sistema 5.

Documento preparado con fines de ingeniería y diseño de procesos galvánicos.