

Sector  
**TRATAMIENTO**  
de superficies

APLICACIONES  
DEL MANUAL MEDIA  
A SECTORES  
INDUSTRIALES

**APLICACIONES DEL**  
**MANUAL MEDIA**  
**A SECTORES INDUSTRIALES**

Sector Tratamiento de Superficies



Ministerio de Medio Ambiente



**EMGRISA**

*Empresa para la Gestión de Residuos Industriales. Sociedad Estatal.*



Escuela de  
Organización  
Industrial

**EOI** Escuela de  
Organización  
Industrial



Ministerio de Medio Ambiente



**EMGRISA**

*Empresa para la Gestión de Residuos Industriales. Sociedad Estatal.*

C/ Gregorio del Amo, 6  
Teléfs: 91 349 56 00/ 56  
Fax: 91 554 23 94  
28040 Madrid

Dep. Legal: M-27298-1999

ISBN: 84-88723-30-X

Impresión: Artes Gráficas Marías S. L.

\* Esta publicación se ha realizado en papel reciclado.

*Equipo de trabajo para la elaboración de*  
**LA APLICACIÓN DEL MANUAL MEDIA A SECTORES INDUSTRIALES.**

*Sector:* **TRATAMIENTO DE SUPERFICIES**

## **COORDINACIÓN Y SEGUIMIENTO**

*Granny Opazo Baker*  
LDA. EN PEDAGOGÍA  
COORDINADORA DE ÁREAS

*Federico Ruiz Amorós*  
INGENIERO INDUSTRIAL

## **DIRECTOR TÉCNICO**

*José M<sup>a</sup> Oteiza Fernández-Llebrez*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
JEFE DE PROYECTO

## **EQUIPO TÉCNICO**

*Ana Ramírez Nieto*  
LDA. EN CIENCIAS QUÍMICAS  
TÉCNICO DE EMGRISA

*Paloma Martínez Reif*  
LDA. EN CIENCIAS QUÍMICAS  
TÉCNICO DE EMGRISA

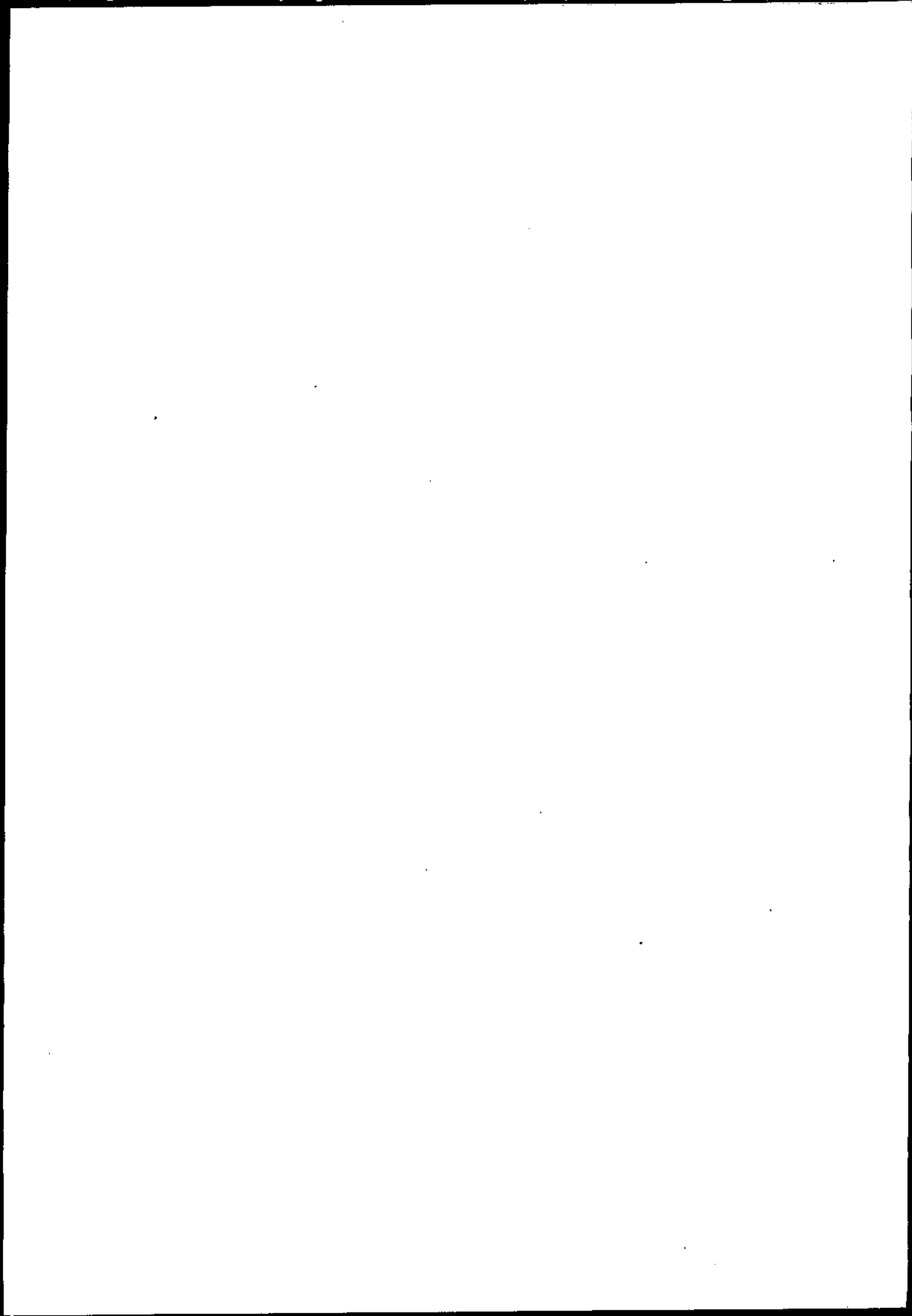
## **COLABORADORES**

*Rosa M<sup>a</sup> Arce Ruiz*  
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS  
DIRECTORA DEL ÁREA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL, EOI

*Miriam Espinosa Romero*  
LDA. EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
JEFE DE PROGRAMAS DEL ÁREA DE GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL, EOI

## **AGRADECIMIENTOS**

**MADEAL FUENLABRADA, S.A.**



## **PRESENTACIÓN**

*La integración de los criterios medioambientales en la política industrial, así como en otras políticas sectoriales, es uno de los ejes del Quinto Programa europeo de acción en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible.*

*Los compromisos adquiridos por la Unión Europea en la Conferencia de Río 1992 se han ido viendo plasmados en iniciativas concretas, como la Directiva 96/61/CE relativa a la Prevención y Control Integrado de la Contaminación. Se busca evitar con ella el tratamiento por separado del control de las emisiones a la atmósfera, al agua o al suelo puedan potenciar la transferencia de la contaminación entre los diferentes ámbitos del medio ambiente, en lugar de protegerlo en su conjunto.*

*En España en este campo, destaca el desarrollo por el Ministerio de Medio Ambiente del Plan Nacional de Residuos Peligrosos y de Recuperación de Suelos Contaminados.*

*Para conseguir estos objetivos no basta, sin embargo, operar sólo en un ámbito supraestructural elaborando planes, proyectos y normativas. Es indispensable incorporar a las empresas, en su política cotidiana, a un proceso de mejora continua, de minimización de residuos, de adopción de tecnologías limpias.*

*Un buen instrumento para ellos van a ser, sin duda, los estudios y anteproyectos de minimización realizados por la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, S.A., EMGRISA, cuya publicación a través de la Escuela de Organización Industrial, EOI se continúa con este tercer volumen de la serie.*

**DOLORES CARRILLO DORADO**

DIRECTORA GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL  
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



## **PREÁMBULO**

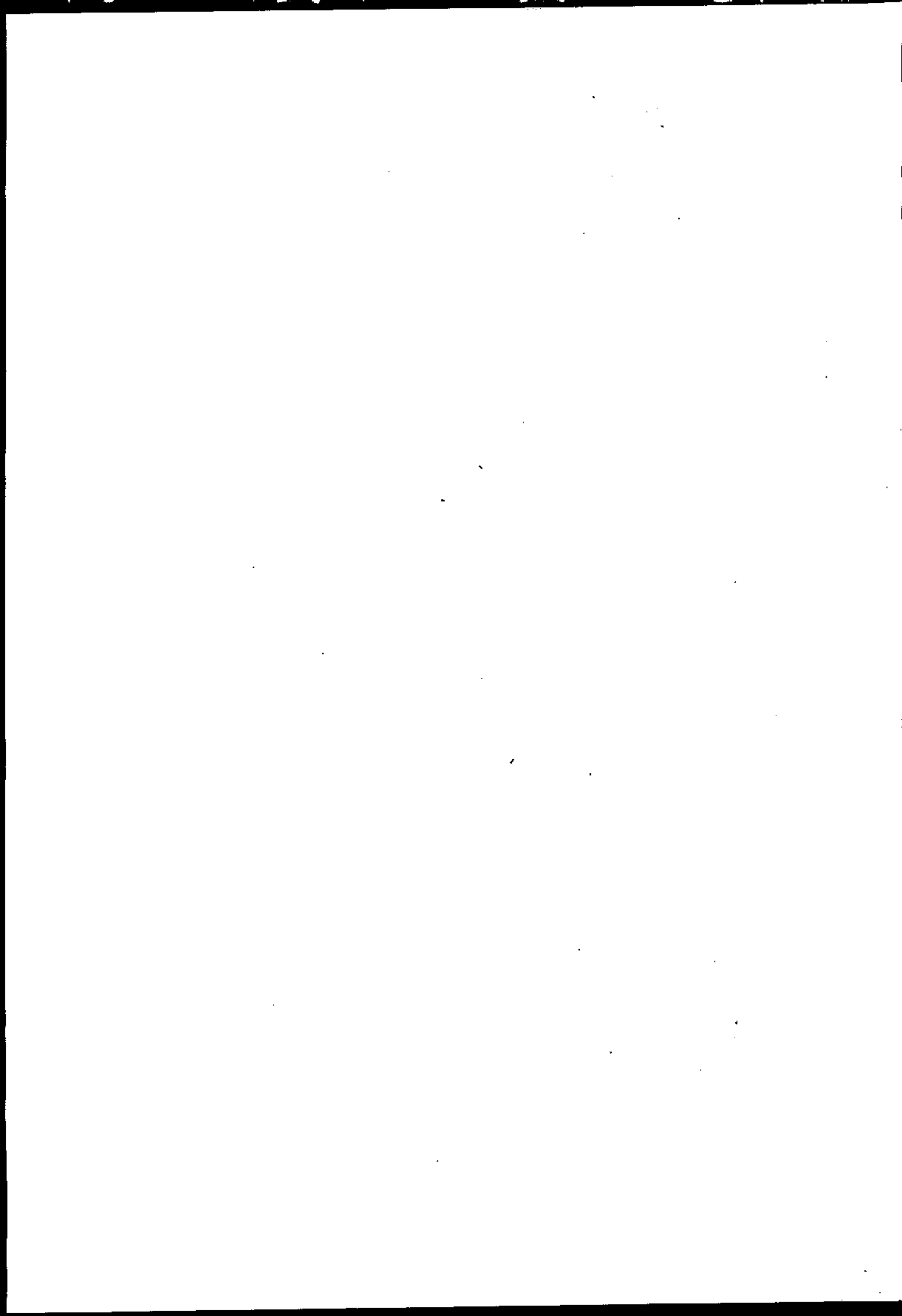
Los objetivos relacionados con la protección del Medio Ambiente están presentes con mayor fuerza cada día en las empresas de todo el mundo, a las que impulsan a realizar inversiones para reducir la contaminación, y obliga en muchas ocasiones a introducir cambios en los procesos productivos.

La adaptación de los diferentes sectores industriales españoles a la legislación española y comunitaria de cara al Mercado Único, así como las demandas sociales de respeto del medio ambiente, exige todavía importantes esfuerzos. Las acciones voluntarias de las empresas dirigidas a la protección medioambiental van a marcar las diferencias entre ellas a medio plazo, por lo que los propios objetivos de competitividad van a exigir, están exigiendo ya, cambios sustanciales en las estrategias y políticas empresariales.

El Ministerio de Medio Ambiente, a través de un convenio con EMGRISA (Empresa para la Gestión de Residuos Industriales Sociedad Estatal) ha facilitado la realización de una serie de estudios orientados a impulsar acciones dirigidas a la minimización y eliminación de residuos en sectores industriales con fuerte impacto ambiental.

El objetivo de este trabajo es proponer soluciones a los problemas medioambientales del Sector Tratamiento de Superficies y analizar, en la medida de lo posible, la viabilidad económica de la implantación de las soluciones propuestas. Su publicación pretende, principalmente, servir de orientación y ayuda a las empresas y los profesionales que trabajan en el sector, y, en general, para todas aquellas personas que deseen acercarse y profundizar en el tema, sean cuales fueren sus perspectivas o intereses.





## INTRODUCCIÓN

Durante los años noventa, y previsiblemente en las próximas décadas, las empresas se encontrarán inmersas en un entorno cambiante al que precisan adaptarse para garantizar su supervivencia en el mercado. Este actúa como regulador de las actividades empresariales y en él confluyen factores de muy diversa índole, que pueden actuar como barreras o como estímulos, afectando directamente a las estrategias de las compañías. El carácter internacional y, en muchos casos, global del mercado, las actuaciones para la regulación del mismo, el desarrollo de las nuevas tecnologías, la capacidad de acceso a la información, etc., requieren de la empresa una respuesta y, en función de la misma, se ve afectada su competitividad.

En este marco, el medio ambiente se está configurando como un factor más de competitividad en el mundo empresarial. Las empresas, como agentes partícipes de la creación de riqueza en nuestra sociedad, deben ser conscientes, y cada vez lo son más, de las preocupaciones de ésta y desarrollar sus actividades en sintonía con la demanda de una mejor calidad de vida y el mantenimiento de los recursos que, en la actualidad, se encuentran seriamente amenazados por el uso abusivo y, a veces hasta irracional, que se ha venido haciendo de ellos.

Han tenido que producirse grandes desastres ecológicos para que la sociedad y la industria reaccionaran y se empezara a valorar seriamente el coste que el planeta tendría que pagar por mantener los actuales niveles de vida sin modificar las pautas de conducta en relación con la preservación del entorno. Las grandes compañías multinacionales iniciaron actuaciones para revisar sus prácticas medioambientales, así como de seguridad e higiene, para detectar problemas y prevenir accidentes; por otra parte, se adoptaron estrategias de información hacia el exterior, para transmitir a la sociedad su mayor nivel de compromiso ambiental. Paralelamente, los gobiernos han adoptado progresivamente legislaciones cada vez más exigentes en cuanto a niveles admisibles en las emisiones contaminantes y la implantación de medidas correctoras de la contaminación, mientras que la sociedad en general se encuentra altamente sensibilizada hacia todo lo que suponga un impacto sobre el medio ambiente.

Dos mensajes parecen estar claros para todos los estamentos sociales en la actualidad: "quien contamina paga" y "los negocios ecológicos son buenos negocios". En consecuencia, las empresas se preocupan por utilizar, con o sin fundamento, argumentos de venta basados en la protección del medio ambiente y transmitir a los consumidores su compromiso ambiental.

Ante esta situación, para regular el posicionamiento en el mercado de las compañías que realmente son capaces de demostrar sus buenas prácticas medioambientales, así como ofrecer garantías a los consumidores de que la información proporcionada por las empresas es digna de crédito, han surgido una serie de instrumentos para facilitar la gestión empresarial en relación con el medio ambiente, procedentes en buena medida de la experiencia empresarial en el ámbito de la calidad. Dichos instrumentos son básicamente normas de cumplimiento voluntario que, finalmente, conducen a la obtención de la acreditación correspondiente; manuales para facilitar a la empresa la adaptación a las normas y guías sectoriales, como la que se presenta aquí, para analizar de manera pormenorizada las características específicas de sectores industriales

concretos y facilitar así la implantación del correspondiente sistema de gestión.

En el caso de la empresa española, son dos los sistemas voluntarios, regidos por sus correspondientes normas, a los que pueden acoger aquellas compañías capaces de demostrar su compromiso medioambiental de manera documentada. Por una parte, el de ámbito europeo, regulado por el Reglamento 1836/93, por el que se permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambiental (EMAS) y, por otra, el sistema de certificación según la norma internacional UNE-EN-ISO 14001. Ambos sistemas no son en absoluto excluyentes, ya que el propio Reglamento europeo recoge la posibilidad de reconocer la validez de la normas de carácter nacional e internacional. El resultado final en ambos casos, siempre que todo el proceso sea satisfactorio, es la inclusión del centro certificado en un registro de empresas y la obtención del correspondiente distintivo para el mismo.

En cualquier caso, el requisito imprescindible para que un sistema de gestión medioambiental sea realmente útil para la empresa que lo implanta, es el apoyo manifiesto de la máxima dirección de la misma, que debe estar convencida de su necesidad y utilidad y, en consecuencia, motivar a todo el personal de la compañía para su puesta en marcha, funcionamiento y mejora continua. La gestión, con distinto grado de apoyo en soportes materiales, es responsabilidad de los empleados y, como tales responsables, deben estar debidamente informados e involucrados en su correcto desarrollo. Este compromiso, por sí mismo, ya constituye un cambio importante de mentalidad empresarial, pues tradicionalmente los aspectos relacionados con la protección del medio ambiente han recaído casi exclusivamente sobre los responsables de los procesos de producción.

Una empresa que decida implantar un sistema de gestión debe, en primer lugar, conocer la situación de partida, es decir, disponer de un diagnóstico de su nivel de cumplimiento de la legislación aplicable al centro en el que se va a implantar el sistema y conocer, además, las repercusiones medioambientales de todas sus actividades, así como las características de sus productos que puedan afectar al entorno.

A partir del diagnóstico inicial, la empresa identifica los puntos fuertes y débiles, las carencias, la posición en el mercado, en relación con los competidores, los clientes y los proveedores, el nivel de preparación y motivación de su personal para acometer el proyecto y puede definir los objetivos a cubrir a corto, medio y largo plazo y las medidas necesarias para su consecución.

Obtenidos los resultados del diagnóstico, la empresa establece una política, basada en objetivos claros y concretos, que debe ser transmitida a toda la compañía para que entienda la importancia del proyecto que se va a acometer y perciba la implicación de la dirección con el mismo. La política medioambiental de una empresa debe reunir una serie de requisitos: ser acorde con sus actividades y con los efectos que éstas ejercen sobre el entorno, incorporar un compromiso de mejora continua, debe plasmarse documentalmente y ser accesible al público.

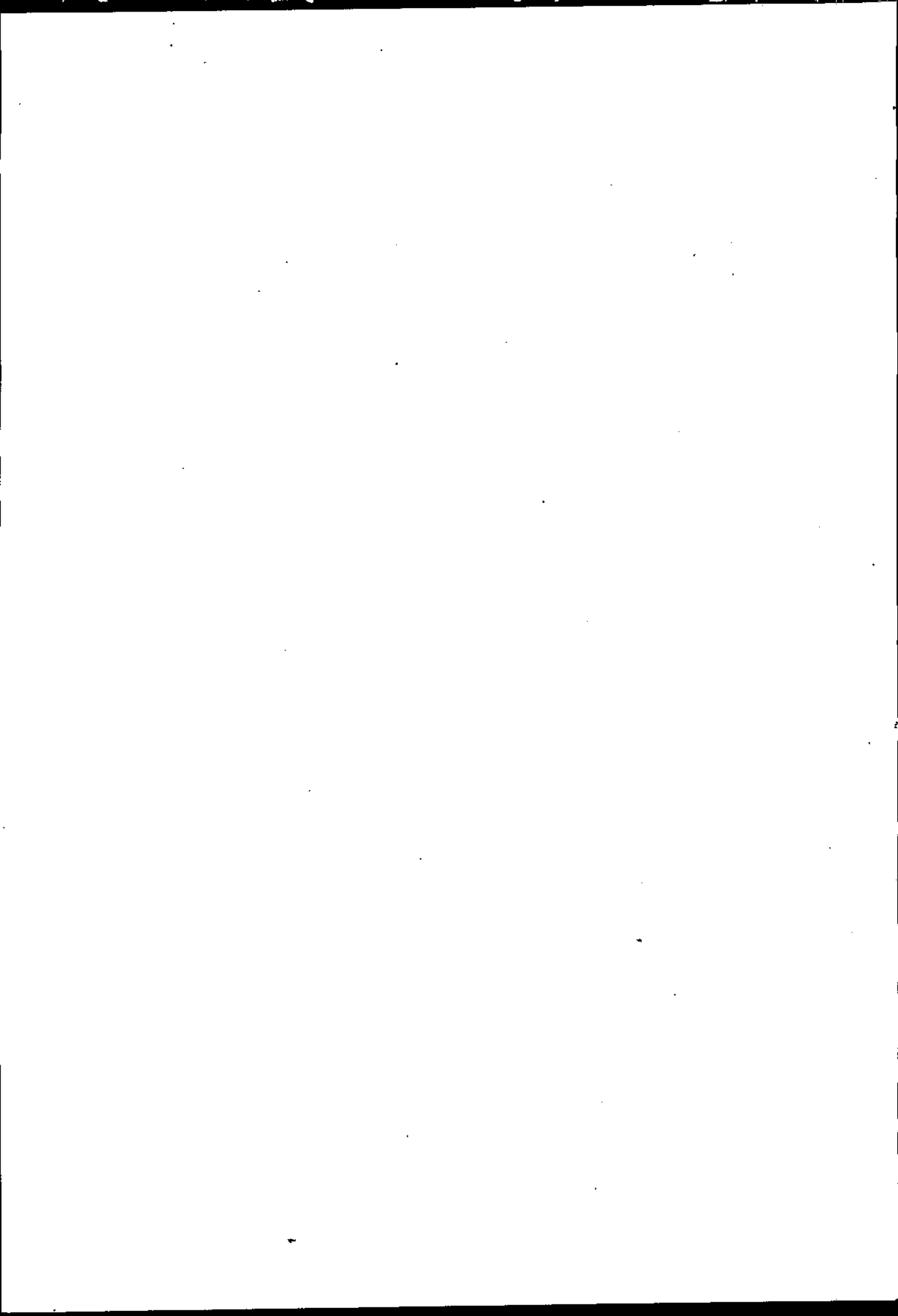
El sistema de gestión medioambiental se diseña para llevar a la práctica la política de la empresa. El sistema se apoya en tres elementos básicos: los objetivos y metas según la política adoptada, la organización del personal y los procesos que comprende el sistema, debidamente documentados. El primer paso para su definición e implantación es la asignación de responsabilidades, la autoridad y las interrelaciones entre las personas que gestionan, realizan y verifican el trabajo que afecta al medio ambiente, debiendo recaer la máxima responsabilidad sobre un representante de la dirección.

La documentación del sistema de gestión debe comprender, tanto la descripción de todas las operaciones que engloba el mismo, ordenadas según el nivel de detalle y los destinatarios (manual, procedimientos, instrucciones, etc.), como todos aquellos documentos relacionados con el impacto ambiental de la actividad, fundamentalmente la legislación aplicable actualizada, los efectos medioambientales y los documentos de carácter administrativo (permisos, autorizaciones, controles, etc.).

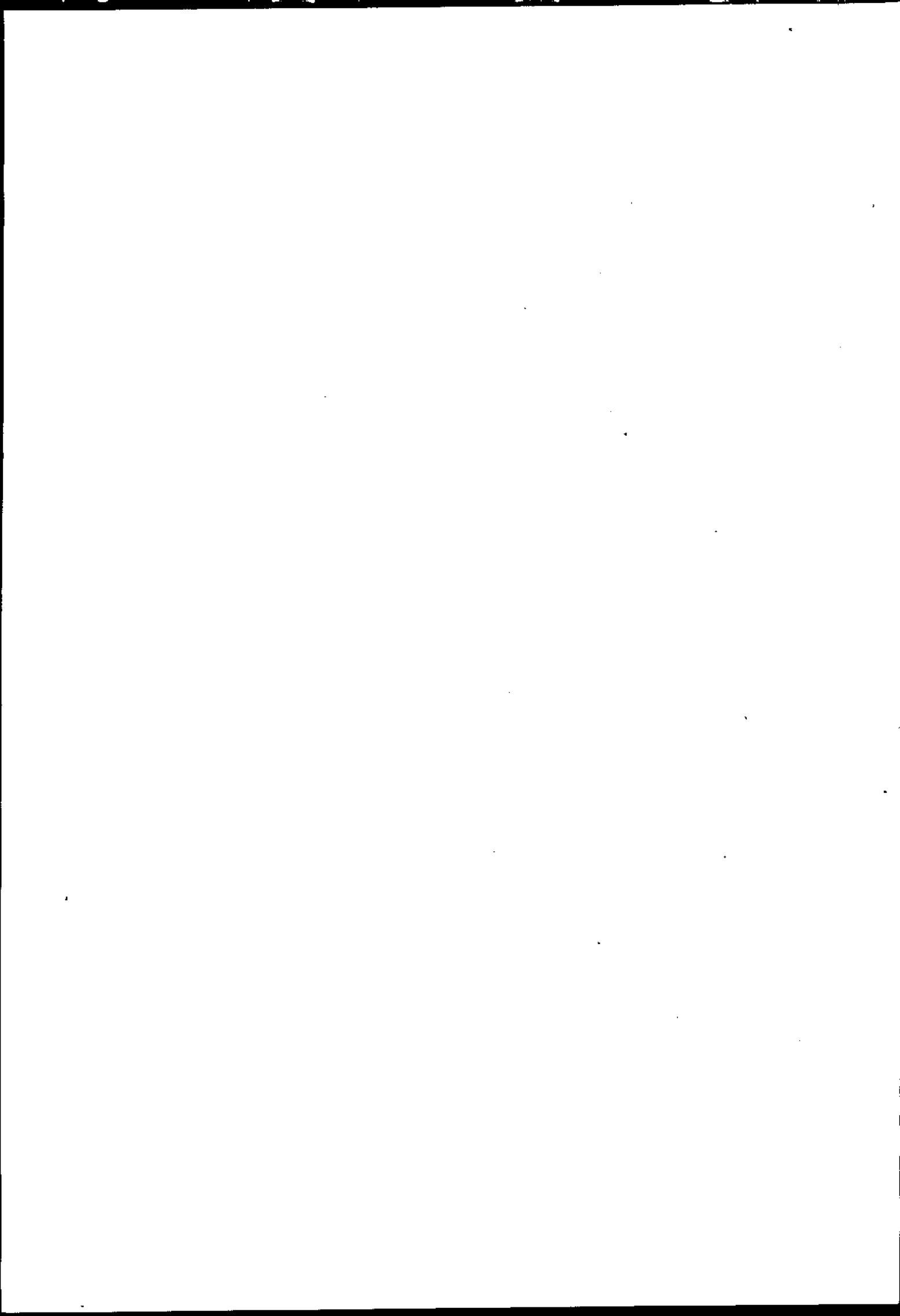
Lógicamente, todos los elementos del sistema de gestión deben orientarse hacia el cumplimiento de la política medioambiental de la compañía; de su claridad, accesibilidad y actualización dependerá el buen funcionamiento del programa.

Una vez implantado el sistema, la compañía evalúa su operatividad, el nivel de cumplimiento del mismo y de los objetivos de la empresa, para lo cual realiza periódicamente auditorías del sistema de gestión, bien internamente o bien contratando auditores externos. Para que un centro pueda acceder al registro de empresas certificadas según el Reglamento 1836/93, tras la auditoría deberá elaborar una declaración medioambiental y someterla a verificación por una entidad acreditada e independiente y, finalmente, hacerla pública. En el procedimiento de certificación según las normas UNE-EN-ISO, toda la auditoría del sistema de gestión debe realizarse por un auditor acreditado e independiente de la empresa.

La guía de aplicación que constituye este volumen, pretende ser la base de partida para las empresas del Sector de Tratamiento de Superficies que deseen iniciar un proyecto de implantación de sistema de gestión. En este trabajo se ha tratado de reflejar de la manera más clara y explícita posible, las características del sector y su problemática medioambiental, para facilitar a las empresas la definición de sus objetivos, metas y programas. Se trata, en definitiva, de aportar un apoyo para aquellas compañías que deciden apostar por un medio ambiente mejor.



**GUÍA PARA LA APLICACIÓN  
DEL MANUAL MEDIA EN EL  
SECTOR TRATAMIENTO DE SUPERFICIES**



## ÍNDICE

	PÁG.
1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	23
3. DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES EN ESPAÑA.....	27
4. MANUAL MEDIA. FICHAS DE TRABAJO.....	33
4.1. G: INVENTARIO GLOBAL.....	33
FICHA G-1    DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO.....	34
FICHA G-2    DIAGRAMA DE CADA ETAPA.....	35
FICHA G-3    DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	37
1.    TRATAMIENTOS PREVIOS.....	37
1.1.    DESENGRASE.....	37
1.2.    DECAPADO.....	38
1.3.    PULIDO.....	39
2.    RECUBRIMIENTOS CON METALES.....	39
2.1.    RECUBRIMIENTOS ELECTROQUÍMICOS.....	39
2.2.    RECUBRIMIENTOS QUÍMICOS O POR CONVERSIÓN.....	41
2.3.    RECUBRIMIENTOS METÁLICOS POR INMERSIÓN.....	42
3.    ACABADOS.....	42
FICHA G-4    RELACIÓN DE MATERIAS PRIMAS.....	44
FICHA G-5    RELACIÓN DE MATERIAS SECUNDARIAS.....	45
FICHA G-6    RELACIÓN DE MATERIAS AUXILIARES.....	47
FICHA G-7    RELACIÓN DE PRODUCTOS TERMINADOS.....	51
FICHA G-8    RELACIÓN DE SUBPRODUCTOS.....	51
FICHA G-9    CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES Y RESIDUOS.....	51
FICHA G-10   CUANTIFICACIÓN DE COSTES DERIVADOS DE CADA UNA DE LAS EMISIONES, RESIDUOS Y SUBPRODUCTO.....	62



FICHA G-11	PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS.....	63
1.	GENERALIDADES DEL SECTOR DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES.....	63
2.	LEGISLACIÓN AMBIENTAL.....	63
3.	PROBLEMAS DETECTADOS.....	64
3.1.	EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	64
3.2.	CORRIENTES RESIDUALES LÍQUIDAS.....	68
3.3.	RESIDUOS SÓLIDOS.....	73
FICHA G-12	PONDERACIÓN CUALITATIVA DE EMISIONES/RESIDUOS.....	74
4.2.	S: SELECCIÓN DE OPCIONES.....	76
FICHA S-1	RELACIÓN DE OPCIONES DE MINIMIZACIÓN.....	81
FICHA S-2	DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES DE MINIMIZACIÓN.....	85
4.3.	E: INVENTARIO ESPECÍFICO.....	76
FICHA E-1	DESARROLLO DE LA OPCIÓN.....	82
FICHA E-2	INFORME GENERAL DE LAS OPCIONES.....	85
4.4.	V: ANÁLISIS DE VIABILIDAD.....	76
FICHA V-1	EVALUACIÓN TÉCNICA.....	77
FICHA V-2	EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL.....	77
FICHA V-3	RELACIÓN DE INVERSIONES.....	77
FICHA V-4	AHORRO BRUTO ANUAL GENERADO POR LA OPCIÓN.....	78
FICHA V-5	CÁLCULO DEL CASH-FLOW ANUAL EXTRA (CF).....	78
FICHA V-6	CÁLCULO DEL PERIODO DE RETORNO (PR).....	78
FICHA V-7	CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	80
FICHA V-8	CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	80
4.5.	OPCIONES DE MINIMIZACIÓN	
4.5.1.	BUENAS PRÁCTICAS DE MINIMIZACIÓN.....	82
1.1.	BAÑOS DE PROCESO Y ACLARADOS.....	82
1.2.	PREVENCIÓN DE FUGAS Y DERRAMES.....	83
1.3.	SEGREGACIÓN DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS.....	83

1.4.	AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LAS DISOLUCIONES, LIMITANDO LA ACUMULACIÓN DE IMPUREZAS .....	83
1.5.	RESIDUOS DE LA DEPURACIÓN DE AGUAS .....	84
1.6.	BUENAS PRÁCTICAS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS .....	84
4.5.2.	REGENERACIÓN DE LOS BAÑOS DE DESENGRASE Y DECAPADO .....	85
2.1.	BAÑOS DE DESENGRASE ALCALINO.....	85
2.2.	BAÑOS AGOTADOS DE DECAPADO ÁCIDO.....	87
4.5.3.	REDUCCIÓN Y RECICLAJE DE DISOLVENTES.....	89
4.5.4.	REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA.....	91
4.5.5.	REDUCCIÓN DE LOS ARRASTRES.....	93
5.1.	DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES DEL BAÑO .....	94
5.2.	UTILIZACIÓN DE ADITIVOS.....	94
5.3.	AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA DISOLUCIÓN.....	95
5.4.	MANEJO Y DISEÑO DE PERCHAS Y SOPORTES.....	95
5.5.	VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN DE LA PIEZA DEL BAÑO Y TIEMPO DE ESCURRIDO.....	96
4.5.6.	EMPLEO DE AGUA DESIONIZADA.....	98
4.5.7.	REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.....	100
7.1.	DURACIÓN DEL ACLARADO .....	102
7.2.	AGITACIÓN O TURBULENCIA DE LAS PIEZAS.....	102
7.3.	CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL TANQUE .....	103
7.4.	TÉCNICAS DE ACLARADO .....	104
4.5.8.	RECICLAJE DE LAS AGUAS DE ACLARADO .....	108
8.1.	TRATAMIENTO DE CORRIENTES RESIDUALES.....	108
8.2.	ACLARADO EN CICLO CERRADO .....	108
8.3.	TÉCNICAS DE ACLARADO REACTIVO .....	109
4.5.9.	RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE METALES.....	111
9.1.	EVAPORACIÓN.....	112
9.2.	INTERCAMBIO IÓNICO .....	113

9.3.	RECUPERACIÓN ELECTROLÍTICA DEL METAL.....	114
9.4.	ELECTRODIÁLISIS.....	115
9.5.	ELECTRO-ELECTRODIÁLISIS.....	116
9.6.	ÓSMOSIS INVERSA.....	116
9.7.	ULTRAFILTRACIÓN.....	117
9.8.	CRISTALIZACIÓN.....	118
9.9.	CALCINACIÓN.....	118
9.10.	EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES.....	118
9.11.	TRATAMIENTO DE LODOS.....	118
4.5.10.	SUSTITUCIÓN DEL ÁCIDO CRÓMICO.....	120
4.5.11.	SUSTITUCIÓN DE LAS DISOLUCIONES DE CADMIO.....	122
4.5.12.	DISOLUCIONES DE RECUBRIMIENTO NO CIANURADAS.....	123
5.	<b>EJEMPLOS DE EMPRESAS QUE HAN IMPLANTADO MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN.....</b>	<b>125</b>
6.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>128</b>
7.	<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>132</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Las empresas españolas, en concreto las del Sector de Tratamiento de Superficies, no pueden considerar de forma aislada los factores económicos y medioambientales, sino ambos deben ir unidos al diseñar su política empresarial, por razones tan importantes como:

- **cumplimiento legal:** la política comunitaria en materia de medio ambiente se traduce en legislación más restrictiva no solo en cuanto a vertidos, residuos y emisiones, sino que se contempla también la necesidad de mejorar la gestión y control de los procesos de fabricación y de los residuos industriales, el control ambiental a lo largo de la vida de los productos, establecimiento de cánones y tasas sobre los mismos y el acceso a la información y participación de la opinión pública y de los interlocutores sociales;
- **imagen ante los clientes** con exigencias de calidad y gestión medioambiental cada vez mayores, y consumidores más concienciados;
- **entidades aseguradoras y bancos** que contemplan los riesgos medioambientales (accidentes potenciales, contaminación de suelos, etc.) a la hora de contratar seguros o conceder créditos a las empresas.

La Unión Europea apoya la revisión y desarrollo de sistemas de gestión medioambiental, la mejora de la información, el empleo de mejores técnicas disponibles y la difusión de buenas prácticas que contribuyan a la reducción de la generación de vertidos, residuos y emisiones, así como la internalización de los costes medioambientales.

Muchas empresas cuentan con la experiencia adquirida en la implantación de sistemas de calidad y han comprobado el avance en su competitividad que obtienen con la certificación de estos sistemas. Con los sistemas de gestión ambiental está ocurriendo lo mismo. Sin embargo, las empresas medianas y pequeñas son las que encuentran mayores dificultades para subirse a este carro e implantar sistemas de gestión ambiental al ritmo que impone el entorno, los clientes, etc., por esta razón necesitan información y procedimientos adecuados a su problemática.

La guía que a continuación se presenta pretende contribuir a iniciar a las mencionadas empresas en la gestión ambiental, proponiéndoles una metodología sencilla para detectar en su proceso industrial los aspectos que pueden ser mejorables en este sentido; siempre teniendo en cuenta la legislación vigente, las tecnologías disponibles y los costes que pueden llevar asociados los cambios que se concluya que será necesario acometer.

La aplicación de esta metodología y las conclusiones obtenidas pueden ser muy útiles para las empresas que se decidan (o se vean obligadas) a implantar un sistema de gestión ambiental certificable o verificable conforme a la Norma UNE-EN-ISO 14001 o el Reglamento EMAS 1836/93, respectivamente; puesto que se detectarán aspectos como incumplimientos de la legislación, partes del proceso que pueden ser mejorables (reducción de la generación de residuos, vertidos y emisiones, reciclado/recuperación de residuos, optimización del uso de las materias primas, etc.). Por otro lado, esta herramienta puede facilitar o complementar la realización de auditorías medioambientales del proceso de producción.

Con la aplicación del Manual MEDIA (Minimización Económica del Impacto Ambiental), en el que se basa esta guía, se contemplan también los costes asociados a los aspectos medioambientales, por lo que la empresa se familiariza con la contabilidad medioambiental y se prepara para el futuro.

El Sector Tratamiento de Superficies se verá obligado a adaptarse a las nuevas exigencias por varias razones:

1. Se generan residuos (baños concentrados y lodos) que contienen una importante cantidad de metales pesados: cinc, cromo, cobre, cadmio, etc., que hay que gestionar como residuos peligrosos con el consiguiente coste que se suma a la pérdida de materias primas.
2. En el sector se consume un gran volumen de agua para llevar a cabo los enjuagues de las piezas antes de pasar de un baño a otro, lo cual genera un importante volumen de aguas residuales. El coste del agua limpia es más elevado en la actualidad, y es necesario disponer de autorización de vertido y pagar un canon.
3. Las inversiones necesarias y los costes de tratamiento de aguas son bastante altos (recursos humanos, productos químicos, energía, eliminación de lodos, etc.) en proporción al volumen de facturación de las empresas del sector de Tratamiento de Superficies, en las que el margen está muy ajustado cuando se trabaja para terceros.
4. Los clientes, cuando se trabaja para terceros, cada día exigen más en relación con la calidad de los acabados. Los clientes suelen ser grandes empresas que ya se han iniciado en la incorporación de los factores medioambientales en su estrategia empresarial y quieren arrastrar a ello a sus proveedores.
5. La Unión Europea promueve, a través de la legislación, ayudas, recomendaciones, etc., el replanteamiento de la estrategia empresarial, dando cada día más importancia a los procesos de fabricación que respeten el medio ambiente, por lo que las empresas tienen que contemplar los factores medioambientales en su política y en sus procesos.

En resumen, la presente guía tiene como objetivos:

- Orientar a las empresas sobre las posibilidades reales de reducción de la generación de residuos, vertidos y emisiones en los procesos industriales del Sector de Tratamiento de Superficies, proponiendo soluciones a los problemas medioambientales del Sector, y analizar, en la medida de lo posible, la viabilidad económica para la implantación de las soluciones propuestas.
- Ayudar a las empresas a elaborar su propio diagnóstico medioambiental del que puedan extraer sus objetivos y metas medioambientales a corto, medio y largo plazo (en los que se incluyan las medidas de minimización que puedan ser viables en su caso particular) e ir asimilando el factor medioambiental en la estrategia de la empresa.

Las ventajas que se obtienen con la aplicación de la metodología del Manual MEDIA aplicada al sector de Tratamiento de Superficies se resumen en los siguientes puntos:

- En varios momentos se han mencionado los costes medioambientales<sup>1</sup>, que para las empresas del sector se estiman entre el 5 y el 15 % de los costes totales, porcentaje nada despreciable. Aunque el objetivo último de esta guía es la mejora medioambiental en general, colateralmente se consigue una importante **reducción de costes**, al incrementarse la eficiencia del proceso y reducirse los costes de gestión de residuos y los costes de depuración.
- Con las mejoras ambientales que se proponen en esta guía se pretende **optimizar el uso de las materias primas, secundarias y auxiliares y reducir la generación de residuos y emisiones**.
- Al analizar el proceso desde el punto de vista medioambiental se detectan ineficiencias cuya corrección supone un **aumento de la calidad del proceso**, lo cual es una ventaja competitiva.
- La metodología que se emplea y las conclusiones que se extraen ayudan a **implantar un Sistema de Gestión Medioambiental certificable o verificable** conforme a la Norma UNE-EN-ISO 14001 o el Reglamento 1836/93 de ecogestión y ecoauditoría, respectivamente, puesto que se obtiene información útil que ayuda a definir la política medioambiental, la identificación de aspectos e impactos medioambientales, los objetivos y metas, el programa medioambiental, el control operacional que se requiere para implantar las medidas programadas, etc., además de facilitar las auditorías medioambientales del proceso previstas en el Sistema de Gestión Medioambiental.
- **Ayuda al cumplimiento de la legislación<sup>2</sup> ambiental actual** y la empresa se prepara para cumplir con exigencias novedosas:
  - Según el Real Decreto 952/97, a partir del año 2001 las empresas están obligadas a presentar ante el organismo competente de su Comunidad Autónoma, estudios de minimización de los residuos peligrosos que generen por unidad producida<sup>3</sup>, comprometiéndose a reducirlos en la medida de lo posible. Estos estudios se deben realizar cada cuatro años.
  - Por otro lado, la Ley de Residuos 10/98 tiene como objeto prevenir la generación de residuos y fomentar la reducción, reutilización, reciclado y otras formas de valorización con el fin de proteger el medio ambiente y la salud de las personas. Para conseguirlo, el Gobierno podrá establecer objetivos de minimización de determinados tipos de residuos, y por otro lado, se requerirá autorización administrativa para la instalación, ampliación y modificación sustancial o traslado de las industrias generadoras de residuos peligrosos, en la que se indicará la cantidad máxima de residuos por unidad de producción, para lo cual considerará la utilización de tecnologías menos contaminantes, así como otras medidas que se desarrollarán mediante reglamentos.

(<sup>1</sup>) Muchas empresas ni siquiera tienen cuantificados estos costes.

(<sup>2</sup>) En el apartado correspondiente se resaltarán los aspectos más importantes que deben cumplir las empresas de Tratamiento de Superficies.

(<sup>3</sup>) En la Ley 10/98 de residuos se da potestad al Gobierno para limitar la cantidad de residuos que se pueden generar por unidad producida por cada sector industrial. En algunos países ya se limita el volumen de agua que se puede emplear en los lavados por m<sup>2</sup> de producto.

- La Directiva 96/61/CE relativa a la Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC) establece los criterios para determinar los valores límites de emisión, los parámetros y las medidas técnicas equivalentes basándose en las mejores tecnologías disponibles, se da un enfoque integrado al procedimiento de autorización, se destaca como fundamental la transparencia informativa sobre autorizaciones, emisiones, etc. En general, se considera importante alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente en su conjunto, controlando la contaminación y poniendo medidas para reducir las emisiones, tanto al aire, al agua, como al suelo.
- **Mejora la relación de la empresa con su entorno:** empleados (se mejora el ambiente de trabajo al reducirse los riesgos laborales derivados de la contaminación, mayor motivación, menores quejas sindicales), administraciones (actitud preventiva y mayor garantía de cumplimiento de la legislación), clientes (mayor calidad, respuesta ante nuevas exigencias medioambientales), vecinos (se reducen las quejas y se mejora la percepción social), accionistas (revalorización al considerar factor medioambiental, se reduce el riesgo de accidentes medioambientales), etc.

## 2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Este trabajo se basa en:

- el Estudio de Minimización del Sector de Tratamiento de Superficies realizado por EMGRISA para el Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (1993),
- la experiencia adquirida por EMGRISA trabajando con empresas del sector en la búsqueda de medidas de minimización,
- bibliografía publicada por diferentes organismos y entidades.

La guía se ha estructurado según el Manual MEDIA (Minimización Económica del Impacto Ambiental) que publicó el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Es la versión española de otros manuales de EEUU Y Holanda principalmente, donde han sido utilizados con éxito. El Manual está dentro del programa EUREKA (Programa Europeo de Cooperación en el ámbito de la Investigación y el Desarrollo orientado al Mercado) y se enmarca en las actuaciones de prevención y minimización del grupo PREPARE (Preventive Environmental Approaches in Europe). Se basa principalmente en la ventaja competitiva que supone la prevención y, en general, la minimización de emisiones y residuos frente a la corrección al final de línea.

El Manual trata de ayudar a las empresas a introducirse en la gestión medioambiental, mirando el proceso productivo bajo un nuevo punto de vista: detectar ineficiencias y descubrir que se puede obtener un beneficio económico mediante la reducción de la carga contaminante, eliminando de la mente del empresario la idea de que la protección del medio ambiente y su repercusión en los procesos productivos es algo no rentable que hay que hacer para ajustarse a la legislación y para no tener problemas con la opinión pública.

El Manual está avalado por su aplicación experimental en varias empresas de distintos sectores y es en sí una guía para realizar una auditoría interna y/o un autodiagnóstico medioambiental de la empresa. Consta de varias fichas, las cuales se han completado en la medida de lo posible ya que se está analizando un sector completo, mientras que está diseñado para el análisis de una empresa concreta. Por esta razón algunas fichas relativas al análisis de viabilidad no se pueden rellenar, así que no se llegará al nivel de detalle económico que sería deseable. A pesar de ello, se ha seguido el Manual MEDIA que puede ser una herramienta muy útil para todo tipo de empresas.

En general, la guía consta de los siguientes apartados

1. Introducción y objetivos, en la que se explican los objetivos y las enormes ventajas de la aplicación del Manual en las empresas.
2. Metodología empleada, en la que se justifica el empleo de ésta y las partes de las que consta la guía.
3. Características generales del sector de Tratamiento de Superficies en España, en el que se da una pequeña visión del sector: empresas, localización, empleados, y problemática relacionada con el medio ambiente.



4. Fichas de trabajo del Manual MEDIA:

4.1. **G: Inventario Global.** Es una aproximación a la gran variedad de procesos productivos, desde la óptica de generación de emisiones y residuos.

4.2. **S: Selección de Opciones.** Aquí se plantean posibles aplicaciones de minimización de los problemas medioambientales detallados en las fichas anteriores.

**E: Inventario Específico.** En esta fase se estudian con mayor detenimiento las opciones seleccionadas.

**V: Análisis de viabilidad.** Se presentan las fichas que deben cumplimentarse en cada caso particular para realizar el análisis de viabilidad de las opciones más interesantes. Se muestran ejemplos de las inversiones necesarias, los ahorros obtenidos para orientar sobre la viabilidad económica de las opciones.

4.3. **Opciones de minimización:**

5. Ejemplos de empresas que han implantado medidas de minimización.

6. Conclusiones finales.

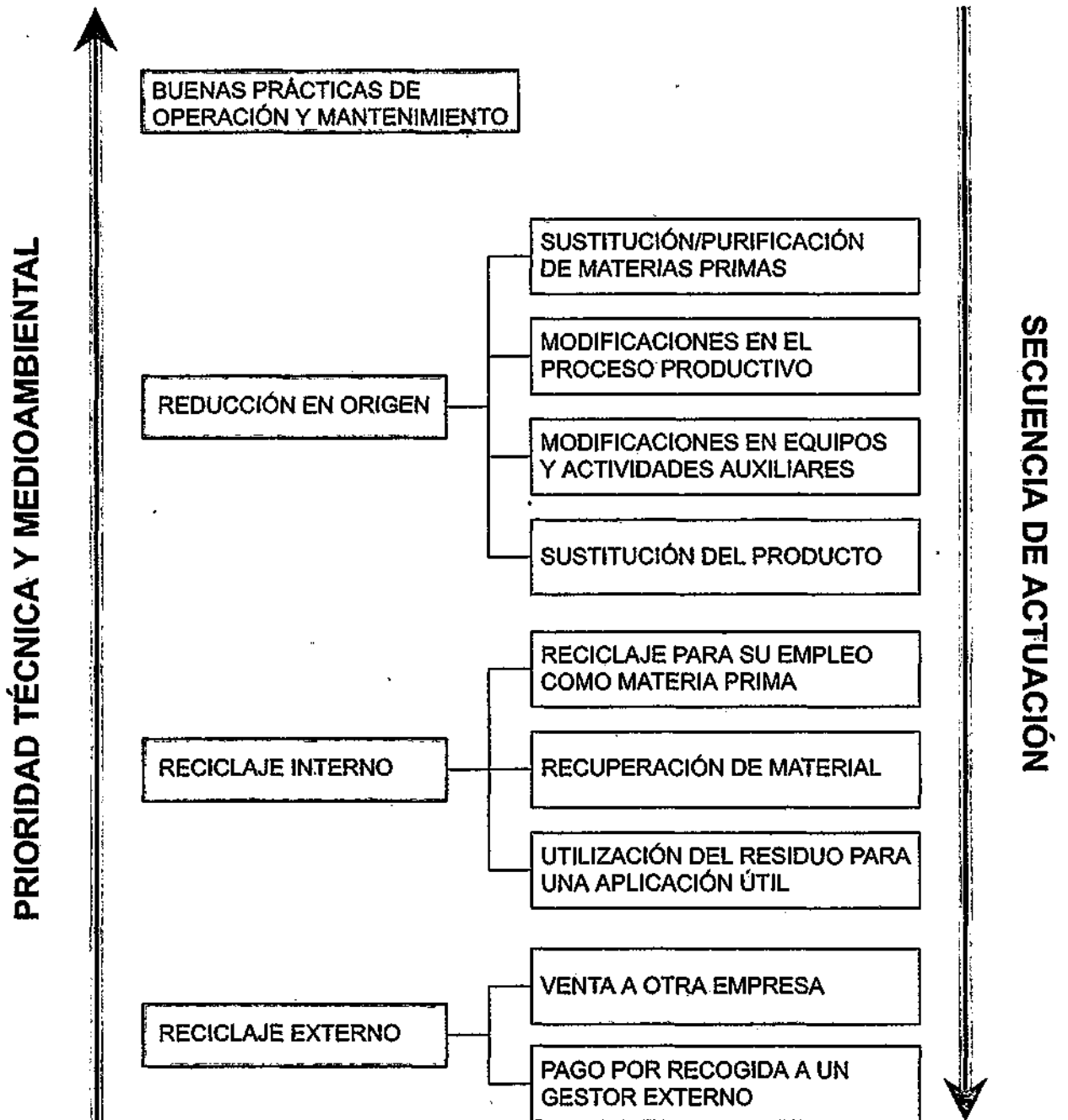
7. Referencias y bibliografía.

Las medidas de minimización propuestas se clasifican según la técnica empleada y por orden de prioridad medioambiental:

- Técnicas de prevención o reducción en origen
- Técnicas de reciclaje en el emplazamiento
- Técnicas de reciclaje externo

En la siguiente figura se resumen las actuaciones que incluye cada técnica.

# PRIORIZACIÓN AMBIENTAL DE LAS TÉCNICAS DE MINIMIZACIÓN



No es objeto de esta guía la definición de los tratamiento "fin de línea" de las aguas residuales, puesto que el término minimización incluye medidas de reducción de la generación de residuos en origen, reciclado y recuperación. Es obvio que las medidas de minimización propuestas influyen en el volumen de aguas residuales generadas (generalmente reduciéndolo) y en su composición (muchas veces aumentando la concentración de contaminantes y en otros casos reduciendo la toxicidad de estos), por tanto, es recomendable que una vez implantadas las medidas de minimización viables, se reajuste el sistema de tratamiento de aguas residuales, si se dispone de él. Si no se dispone de él y se va a diseñar, hay que tener en cuenta la influencia de las medidas que se vayan a implantar. Hay que reconocer que es difícil evitar completamente el tratamiento fin de línea con la minimización, puesto que siempre hay corrientes residuales que, aunque se puede reducir su volumen y/o toxicidad, no se dejan de generar, ya que son consecuencia de impurezas de las materias primas, materias auxiliares que no se incorporan al proceso, etc. Sin embargo, es preferible emplear técnicas de minimización para utilizar los recursos de la forma más óptima.

Hay que señalar que esta guía, al pretender que sea aplicable a un gran número de empresas del sector de Tratamiento de Superficies tiene ciertas limitaciones, entre ellas la dificultad para cuantificar consumos, ahorros, inversiones, etc., aspectos que tendrá que calcular más concretamente cada empresa en el momento de aplicar la metodología, para estudiar la aplicabilidad de las medidas propuestas en esta guía a la empresa particular. De cualquier forma, con la lectura de esta guía se irá comprobando su sentido práctico y se irán sacando las primeras ideas para aplicar el concepto de la minimización de la generación de residuos y emisiones. Si la conclusión que se extrae es la importancia de los factores medioambientales en la estrategia general de la empresa y en particular el interés que tiene para ésta la prevención de la generación de residuos, vertidos y emisiones, ya nos daremos por satisfechos, puesto que al hablar de un sector con gran número de procesos diferentes en estas pocas páginas somos conscientes de que no será posible la implantación directa, tras leer este libro, de la mayoría de las medidas de minimización que se proponen. La implantación definitiva requerirá un estudio más detallado para cada caso particular.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL SECTOR DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES EN ESPAÑA

El sector de Tratamiento de Superficies en España está formado por empresas de pequeño tamaño que trabajan para terceros, y que representan el 32 % del total de empresas dedicadas al Tratamiento de Superficies. El resto son instalaciones integradas en un proceso mucho más amplio de transformados metálicos que incluyen desde el corte y mecanizado de las piezas hasta el acabado, pasando por el tratamiento superficial. Los sectores que incluyen estos procesos de tratamiento son muy variados:

- Metalurgia y transformados metálicos
- Trabajo de metales
- Construcción mecánica
- Fabricación de material eléctrico y electrónico
- Fabricación de electrodomésticos
- Industria aeronáutica y espacial
- Industria del automóvil
- Industria de joyería
- Etc.

Una gran parte de las empresas se dedican a más de un proceso de tratamiento superficial y/o varios tipos de acabados, por lo que el número de productos químicos que se utilizan es muy amplio.

El tamaño pequeño de las empresas, su dispersión geográfica, la gran diversidad de técnicas y procesos utilizados (variedad de productos químicos), la integración en otros procesos industriales, unido a la falta de existencia de asociaciones patronales, hace difícil la cuantificación de los residuos que se producen y su control.

Según un censo de industrias del sector disponible en el Ministerio de Industria, figuran cerca de 4.000 empresas dedicadas al Tratamiento de Superficies. De ellas unas 2.400 se dedican al recubrimiento metálico o decapado, el resto a otros procesos como el esmalado, pintado, etc. (recubrimientos no metálicos).

Si se consideran por subsectores, la gran mayoría, el 55 %, se dedica a los recubrimientos electrolíticos y a la oxidación anódica, el 2,2 % al decapado, el 2,8 % a los tratamientos por inmersión (galvanización, fosfatación, etc.) y el 40 % restante a los tratamientos térmicos de esmalado pintado y metalografiado.

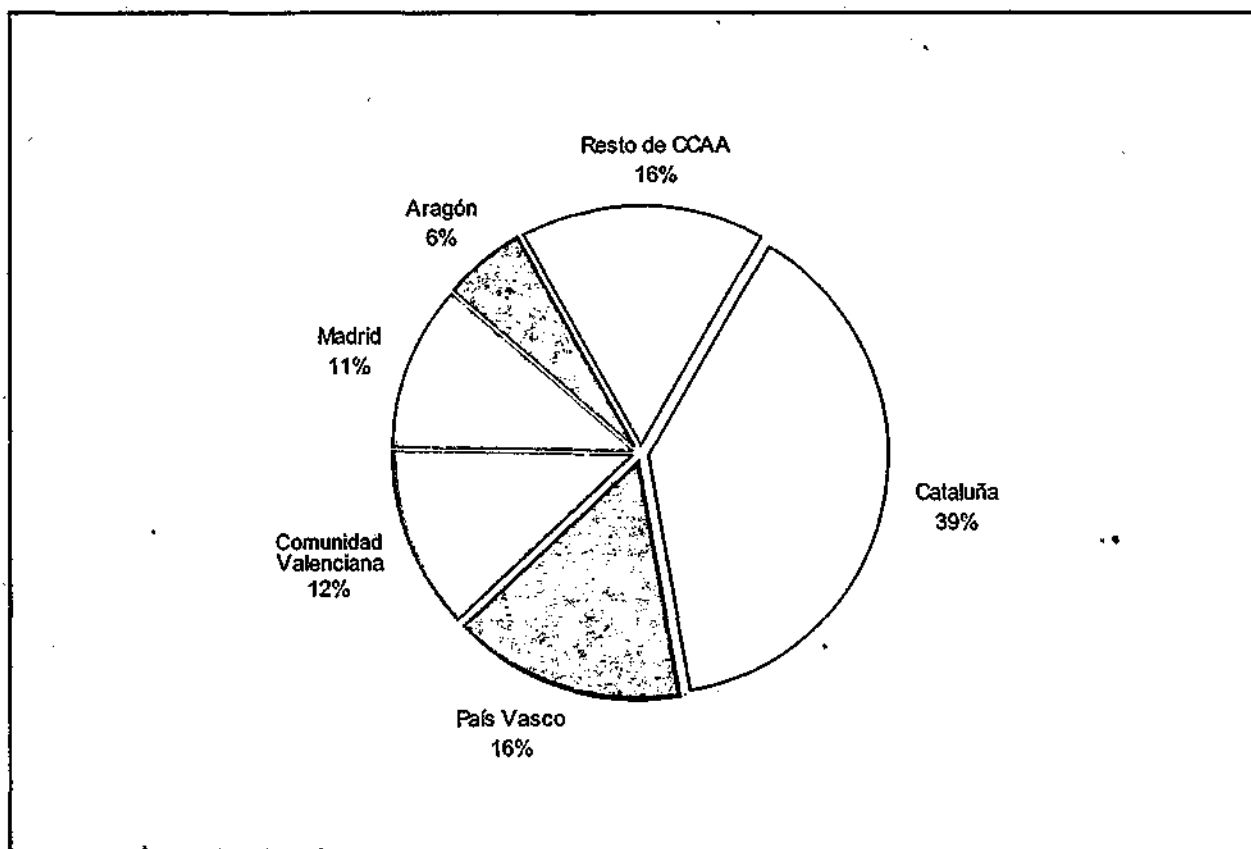
Por Comunidades Autónomas, destacan Cataluña, País Vasco, Comunidad Valenciana, Madrid y Aragón, por el gran número de empresas de este sector que tienen. Por provincias, en las que se asienta un mayor número de instalaciones son: Barcelona, Madrid, Valencia, Guipúzcoa, Vizcaya y Zaragoza. En la tabla 3.1. se muestra la distribución por Comunidades Autónomas del número de establecimientos industriales dedicados al tratamiento superficial.

En cuanto al número de empleados en el sector, es función del tipo de empresa. En las instalaciones integradas en otras empresas mayores es más difícil determinar el número de empleados que trabajan directamente en las líneas de Tratamiento de Superficies. Según datos del Ministerio de Industria y Energía (1998), en los 2.605 talleres que trabajan para terceros el número de empleados global es de 19.789, lo que supone una media de 7,6 empleados por empresa, cifra bastante aproximada a la de otros países europeos. Muchas de las empresas mantienen tecnologías obsoletas y el control del proceso que se realiza es bastante escaso.

**Tabla 3.-1**  
**Distribución de empresas y empleados por Comunidades Autónomas**

CCAA	Nº DE EMPRESAS	PERSONAL	MEDIA DE EMPLEADOS
Cataluña	1.014	7.302	7,20
País Vasco	411	3.180	7,74
Comunidad Valenciana	322	2.284	7,09
Madrid	285	2.438	8,55
Aragón	144	951	6,60
Andalucía	72	663	9,21
Baleares	55	143	2,60
Castilla y León	50	624	12,48
Castilla - La Mancha	47	270	5,75
Murcia	39	369	9,46
Navarra	37	501	13,54
Galicia	35	306	8,74
Asturias	30	301	10,03
Cantabria	23	164	7,13
Canarias	19	105	5,53
La Rioja	18	181	10,06
Extremadura	4	7	1,75
<b>TOTAL</b>	<b>2.605</b>	<b>19.789</b>	<b>7,60</b>

**Figura 3.-2**  
**Empresas de tratamiento de superficies por Comunidad Autónoma**

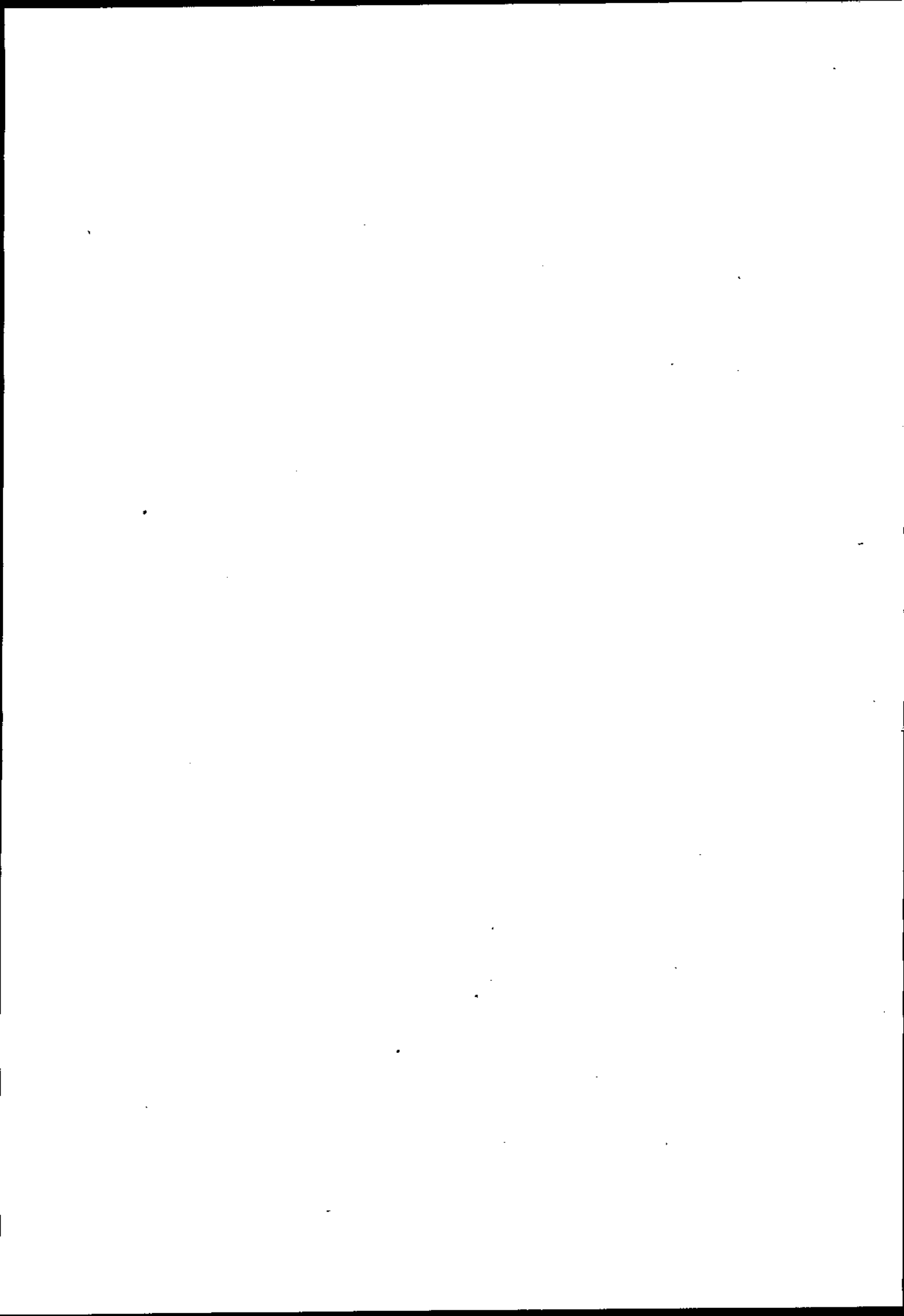


La necesidad de realizar lavados de las piezas entre unas etapas y otras, para evitar la contaminación de los baños siguientes, hacen que este sector sea un gran consumidor de agua. El consumo de agua de las diferentes empresas varía mucho en función del tipo de baño, tamaño y formas de las piezas, arrastres, etc.

Este tipo de empresas genera un importante volumen anual de baños agotados, conteniendo metales, ácidos y bases, que necesitan gestionarse adecuadamente, principalmente por un tratamiento físico-químico in situ o en la planta de un gestor externo; y un gran volumen de lodos con metales que hay que deshidratar y depositar en lugar adecuado. Tanto los baños concentrados como los lodos son residuos peligrosos.

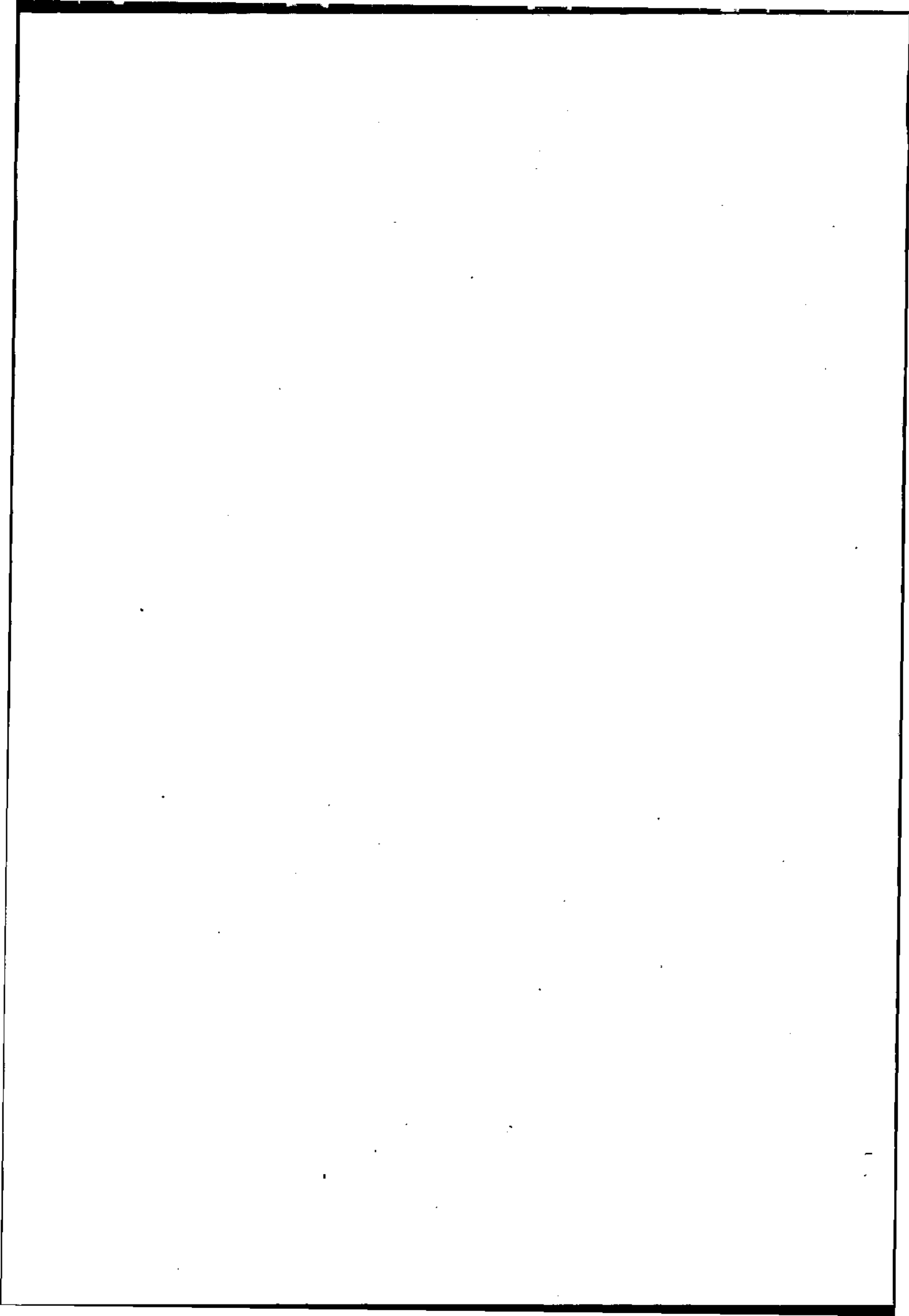
En tercer lugar, la calidad de los recubrimientos es un factor muy importante que influye mucho en la competitividad de las empresas, por lo que el proceso debe llevarse a cabo lo más eficazmente posible para conseguir los niveles de calidad exigidos por el mercado.

Para acometer estos problemas mediante acciones de minimización, las principales medidas que se pueden llevar a cabo son el mantenimiento de los baños de proceso para alargar su vida útil, determinar las necesidades de lavado de las piezas y la técnica de lavado más adecuada, reducir los arrastres entre las diferentes cubas, evitando la contaminación de los baños, y estudiar las posibilidades de devolución de los baños arrastrados a su cuba de origen.



**MANUAL MEDIA  
FICHAS DE TRABAJO**





#### 4. MANUAL MEDIA. FICHAS DE TRABAJO

En el Manual MEDIA, las primeras fichas corresponden a las FICHAS O: Descripción de la empresa y Organización del equipo de trabajo. En estas fichas se concretan los datos generales de la empresa y su estructura, y se define el equipo de trabajo que desarrollará el proyecto. Estas fichas son importantes puesto que es conveniente que se designe un responsable del Plan de Minimización, apoyado por la Dirección de la empresa, sin embargo, en el caso de este proyecto sectorial no tiene sentido cumplimentarlas, aunque no deben olvidarse a la hora de aplicar el Manual a una empresa en particular.

##### 4.1. G: INVENTARIO GLOBAL

En la ficha G-1 se muestra un esquema global del sector de Tratamiento de Superficies, puesto que sería muy extenso detallar los diagramas generales de todos los procesos que tienen lugar en el sector. No se han incluido etapas como el mantenimiento, el pretratamiento de aguas de proceso, el tratamiento de corrientes residuales, los sistemas para calentar o enfriar los baños, etc. Estos procesos también generan residuos, vertidos o emisiones que es importante minimizar, y que en un caso real, deberían tenerse en cuenta.

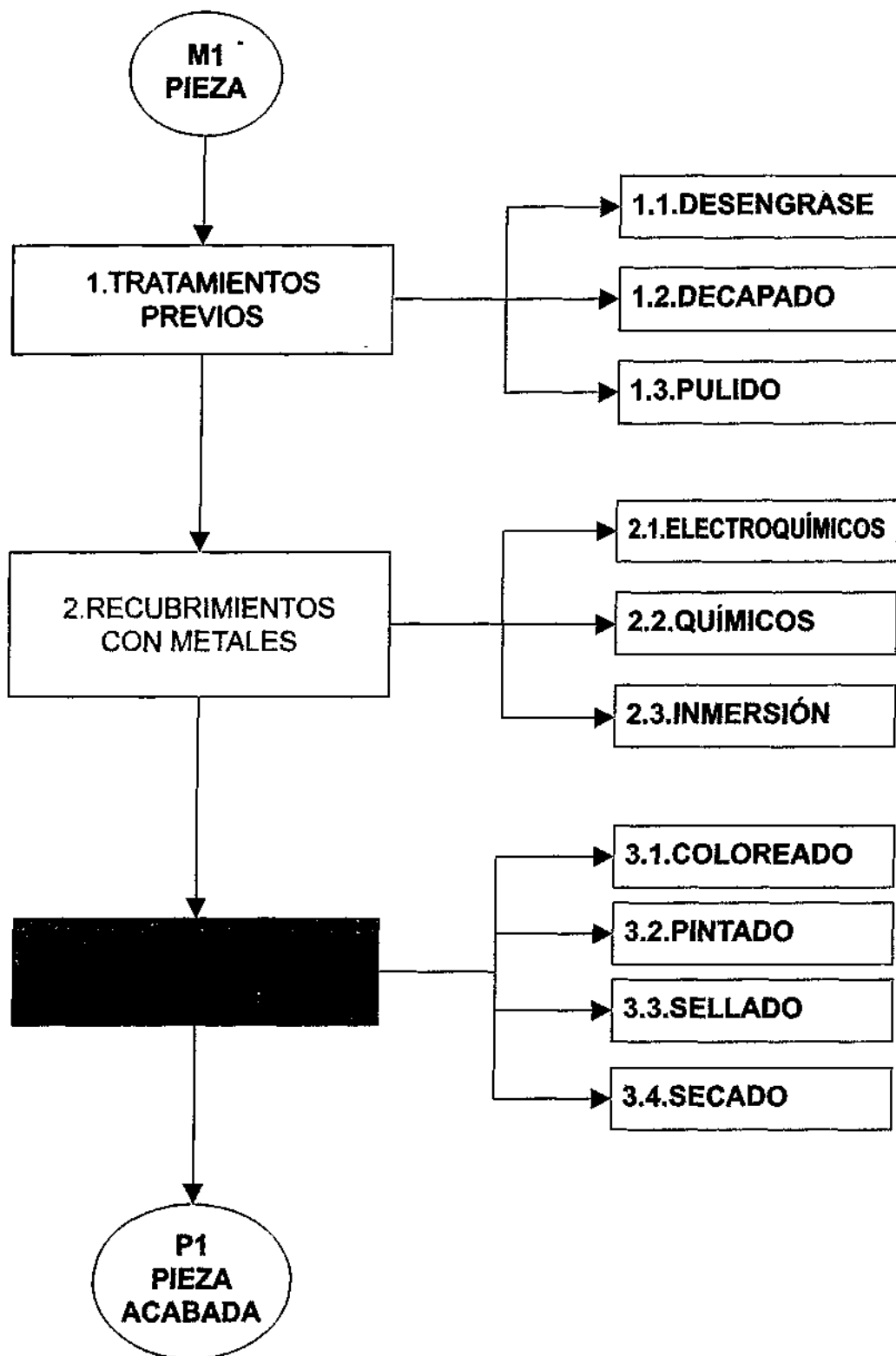
En la ficha G-2 se muestra un diagrama de cada etapa, en las que se han generalizado las materias secundarias y auxiliares que se emplean, de la forma: desengrasantes, aditivos, disolución de electrolito, etc. Más adelante, en las Fichas G-4 a G-10 se hace una descripción más detallada de la composición más habitual de estas materias, residuos, corrientes residuales, etc. Entre las corrientes de entrada y salida sería interesante analizar las entradas y salidas de energía, puesto que ésta es un recurso más que hay que optimizar para procurar un desarrollo sostenible; aunque aquí no lo hemos hecho por su difícil cuantificación para el sector global y para no dilatar en exceso la guía.

##### Leyenda

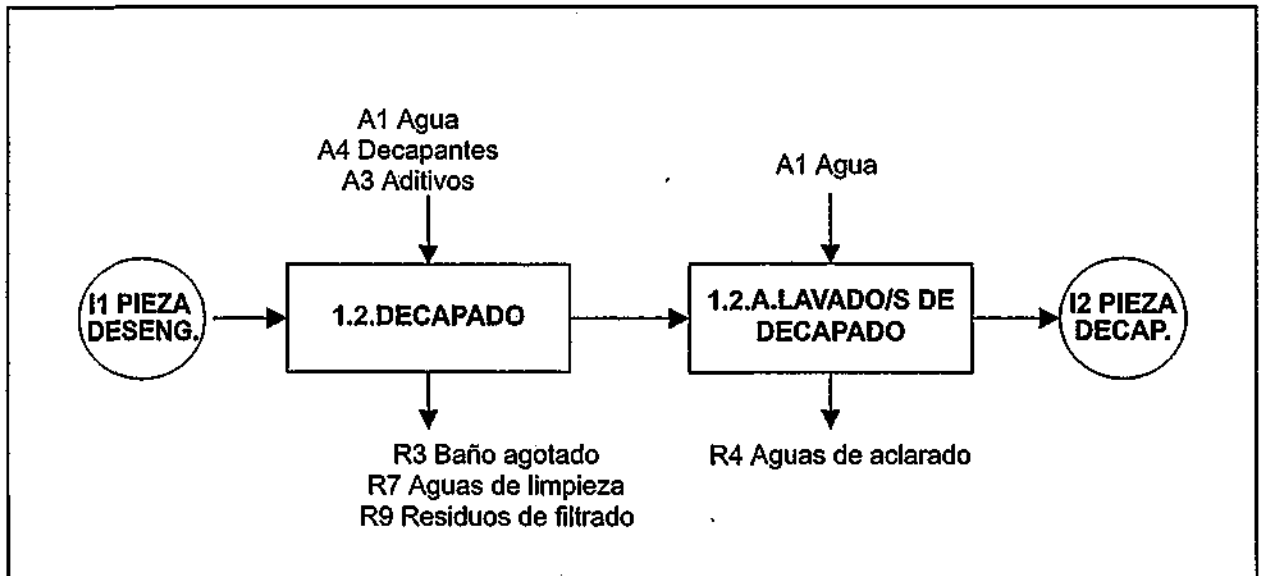
Mi:	Materias primas
Si:	Materias secundarias
Ai:	Materias auxiliares
Bi:	Subproductos
li:	Productos intermedios
Pi	Productos acabados
Ri:	Corrientes residuales

Los problemas medioambientales se presentan en la ficha G-11, agrupados por su efecto sobre la atmósfera, las aguas y el suelo.

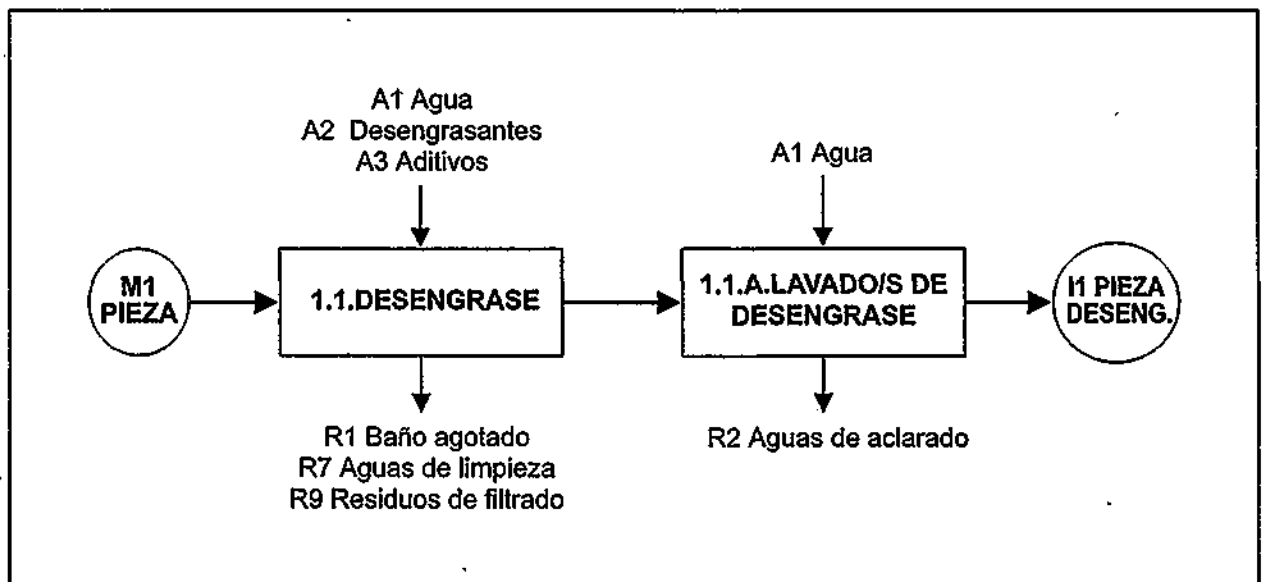
FICHA G-1  
DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO



**FICHA G-2**  
**DIAGRAMAS DE CADA ETAPA**  
**NOMBRE DE LA ETAPA: Desengrase**  
**NUMERO: 1.1**

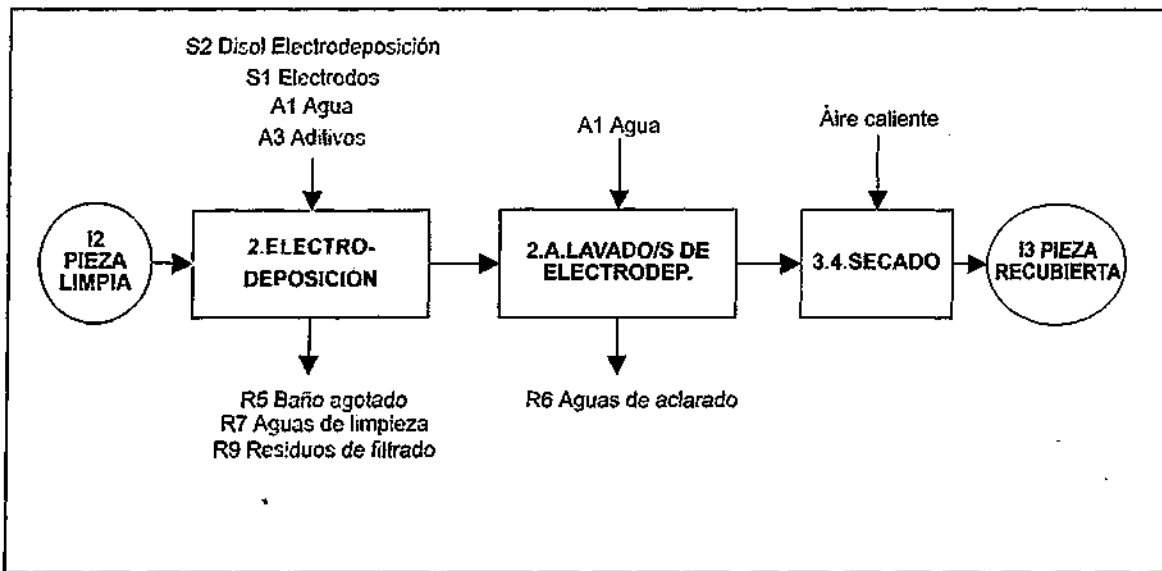


**FICHA G-2**  
**DIAGRAMAS DE CADA ETAPA**  
**NOMBRE DE LA ETAPA: Decapado**  
**NUMERO: 1.2**

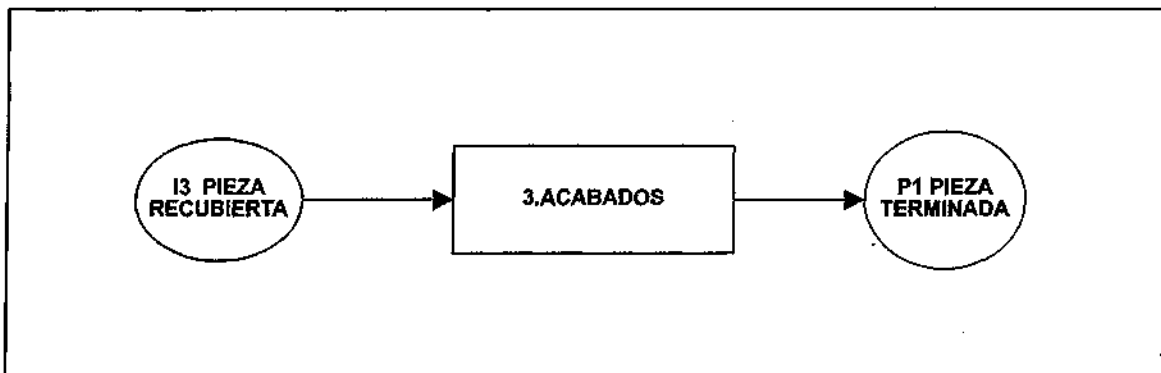


I: Productos Intermedios, M: Materias primas, A: Materias auxiliares, R: Corrientes residuales

**FICHA G-2**  
**DIAGRAMAS DE CADA ETAPA**  
**NOMBRE DE LA ETAPA: Electrodeposición**  
**NUMERO: 2**



**FICHA G-2**  
**DIAGRAMAS DE CADA ETAPA**  
**NOMBRE DE LA ETAPA: Acabados**  
**NUMERO: 3**



A: Materias auxiliares, I: Productos intermedios, S: Materias secundarias, P: Productos acabados, R: Corrientes residuales.

## FICHA G-3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 1. TRATAMIENTOS PREVIOS

Son procesos que se realizan para eliminar las impurezas orgánicas e inorgánicas presentes en las superficies metálicas y procedentes de operaciones anteriores como el corte, pulido, almacenamiento, transporte, etc. La bondad del recubrimiento es función del grado de limpieza, por tanto, estos tratamientos previos son muy importantes. Son básicamente dos: desengrase y decapado.

Existen varios métodos, tanto de desengrase como de decapado, dependiendo de:

- Tipo de superficie a recubrir (tamaño, forma, etc.)
- Metal que se recubre
- Tipo de recubrimiento
- Grado de limpieza exigido

#### 1.1. DESENGRASE

Esta etapa tiene como objetivo la eliminación de las impurezas de tipo orgánico adheridas a la superficie, como lubricantes, aceites de corte, pinturas, etc. Existen varios procedimientos de desengrase:

##### 1.1.1. Térmico, o pirogénico

Dstrucción de grasas e impurezas mediante el calor, sin llegar a producirse oxidación. Se realiza cuando la cantidad de grasa es pequeña.

##### 1.1.2. Disolventes orgánicos halogenados o no halogenados.

Se emplean cuando las piezas son pequeñas. Los disolventes halogenados más utilizados son el tricloroetileno y el percloroetileno, y los no halogenados xileno y tolueno. Se pueden aplicar en fase vapor, líquida, mixta y proyección.

##### 1.1.3. Medio alcalino.

Se utiliza esta técnica para gran número de piezas de tamaños grandes. Los álcalis que se emplean son hidróxido sódico, carbonatos, permanganatos, fosfatos, ortofosfatos, silicatos alcalinos, jabones y detergentes sintéticos, en medio acuoso, en el que se sumergen las piezas, o por rociado de éstas. El desengrase alcalino también puede ser electrofítico: la pieza puede actuar como cátodo si no se da el problema de la fragilización del metal a causa del hidrógeno gas que se desprende en este electrodo. Si hay fragilización, actúa como ánodo.

#### 1.1.4. Mezclas de disolventes y álcalis.

Las piezas desengrasadas deben pasar después a un baño de aclarado para eliminar los restos de grasas, de disolución alcalina y residuos jabonosos, antes de pasar al baño de decapado.

Los que más se suelen utilizar son los desengrasantes con disolventes o con álcalis, por lo que las fichas sucesivas se referirán a las corrientes residuales y a los problemas que plantean este tipo de productos.

### 1.2. DECAPADO

Con esta operación se eliminan los óxidos metálicos de la superficie de la pieza. Puede realizarse por procedimientos químicos o físicos.

#### 1.2.1. Decapado en disolución acuosa.

- Medio ácido: Ácido sulfúrico diluido, al 5-10 % y a 65-88°C que lleva un inhibidor catódico (compuestos orgánicos: quinona, tiourea, pirideno, etc.). Ácido clorhídrico al 18 % en peso y a temperatura ambiente. Ácido fluorhídrico al 0,5-3 %. Ácido fosfórico. Ácido crómico.
- Medio básico: Decapado y desengrase conjunto. Se emplea una disolución de sosa. Esta forma de desengrase y decapado se suele realizar al alambre. También se pueden emplear cianuros en casos puntuales.
- Decapado electroquímico: La pieza actúa como electrodo, sumergida en un baño ácido o básico.

#### 1.2.2. Decapado con sales fundidas.

Se realiza en medio básico con hidróxido, nitrato y carbonato sódico, a temperatura entre 450 y 500°C. Después se sumerge en agua ligeramente ácida. Éste es un procedimiento oxidante. Se puede emplear también un reductor como el hidruro de sodio.

#### 1.2.3. Decapado mecánico.

Con esta operación se realiza el desengrase y el decapado de una vez. Se emplean muelas abrasivas, discos de fieltro impregnados de abrasivos, cepillos, discos de telas duras, etc.

Las superficies decapadas tienden a oxidarse, por lo que se suelen someter a un posterior pasivado (inmersión en una solución diluida y caliente de ácido crómico y fosfórico) o fluxado (recubrimiento con un fundente: cloruro amónico-cloruro de cinc). De cualquier forma, las piezas deben pasar por un tanque de aclarado para eliminar restos de productos químicos o impurezas, antes de introducirse en la cuba electrolítica.

El decapado más utilizado es el que emplea disoluciones acuosas ácidas, por lo que en fichas posteriores, al hablar de decapado, nos referiremos al decapado en medio acuoso ácido.

### 1.3. PULIDO

Si con los tratamientos previos mencionados hasta ahora no se consigue la calidad de superficie requerida para realizar la electrodeposición, se recurre al pulido. Con esta operación se obtienen superficies lisas y uniformes, pulidas y abrillantadas. El proceso puede ser mecánico o electrolítico:

- **Mecánico:** se usan poleas giratorias de fieltro o cuero revestidas de abrasivos (esmeril, corindón, etc.).
- **Electrolítico:** se disuelven las protuberancias de la superficie de la pieza, que actuarán como ánodo. Los electrolitos pueden ser ácidos o básicos (ácido ortofosfórico, ácido perclórico o hidróxido sódico).

Esta operación no será necesaria si los procesos de desengrase y decapado se realizan con la suficiente profundidad, por lo que no se van a desarrollar en este estudio.

Antes de pasar del pulido al baño de recubrimiento, las piezas deben pasar por un baño de aclarado, para eliminar restos de disolución y óxidos. A veces se sumergen las piezas en un baño de activado consistente en ácido diluido para eliminar pequeñas capas de óxido formadas sobre la superficie tratada, velos o manchas, etc.

## 2. RECUBRIMIENTOS CON METALES

Las operaciones de tratamientos de superficies consisten en la inmersión de la pieza en un baño que contiene los reactivos necesarios para conseguir las propiedades deseadas. El método de aplicación del recubrimiento depende directamente de las características y propiedades de la pieza: espesor, uniformidad, adherencia, etc. Las principales operaciones de recubrimiento son las siguientes:

### 2.1. RECUBRIMIENTOS ELECTROQUÍMICOS

Consisten en el paso de una corriente eléctrica a través de una disolución que contiene iones metálicos y la pieza metálica a recubrir. La pieza actúa como cátodo, atrayendo los iones metálicos de la disolución que, por tanto, se depositan sobre su superficie. Son procesos de oxidación reducción (excepto el cromado).

Las piezas metálicas se suelen recubrir electrolíticamente con metales como: aluminio, bronce, cadmio, cromo, cobre, hierro, plomo, níquel, estaño, cinc y metales preciosos como oro, platino y plata.

A la disolución electrolítica se le adicionan compuestos orgánicos que hacen la función de abrillantadores, niveladores del pH (tampones), etc.

A continuación se describen los procesos de recubrimiento electrolítico más comunes:

#### 2.1.1. Cobreado

El cobre se deposita a partir de cuatro tipos de baños: baño cianurado alcalino, baño ácido de sulfato, pirofosfato o fluoborato, preparados todos ellos con la correspondiente sal de cobre. Además, los baños suelen llevar



compuestos orgánicos para refinar el grano o dar brillo a la pieza. Los ánodos que se utilizan son en su mayoría de cobre para compensar las pérdidas de metal por deposición sobre la pieza trabajada. De esta forma, se mantiene constante la concentración de metal en la disolución.

#### 2.1.2. Niquelado

El níquel se deposita a partir de baños de sulfo-cloruro-básico sulfamato, cloruro y fluoroborato y la correspondiente sal de níquel, tamponada con ácido bórico. Suele llevar un humectante en pequeña concentración y algún componente orgánico para abrillantar el recubrimiento y controlar otras propiedades. Este tipo de recubrimiento se suele realizar junto a cobre, níquel y cromo. Los ánodos son de níquel, en la mayoría de los casos, para mantener constante la composición de la disolución.

#### 2.1.3. Cromado

Los baños de cromado están compuestos por una solución de ácido crómico y una pequeña cantidad de ácido sulfúrico, o mezcla de sulfúrico y fluosilicato. Los objetos que se croman suelen ser de acero, acero niquelado y cinc niquelado. Con 150-400 g/l de ácido crómico se consiguen espesores de 0,2 y 1 micra. Los ánodos son insolubles, de plomo, por lo que hay que ir añadiendo ácido crómico para reponer el que se va depositando en el cátodo (pieza a recubrir). Esta cantidad oscila entre un 10 y un 20 % en las instalaciones de recubrimiento meramente decorativo y entre un 25 y un 90 % en las de cromo duro, dependiendo estos porcentajes de las pérdidas por arrastre.

#### 2.1.4. Cincado

El cinc se deposita a partir de soluciones alcalinas de cianuro de sodio y ácido de cinc o soluciones preparadas con pirofosfato de cinc u otros agentes quelantes, soluciones ácidas de  $ZnCl_2$  (cloruro de cinc) o sulfato de cinc. También llevan un compuesto orgánico que aumenta el brillo del recubrimiento. El baño se agita con aire.

Una gran parte del acero cincado y parte de las piezas cobreadas se suelen someter a un nuevo recubrimiento, por ejemplo, de cromado, o uno de los muchos acabados de color.

#### 2.1.5. Cadmiado

Este tipo de electrodeposición se usa para proteger piezas o láminas de acero e hierro contra la corrosión. Por su elevado coste, se aplican espesores muy finos. A veces se aplica sobre recubrimientos de cinc o para recubrir piezas formadas por dos metales.

Los baños más usados son los de cianuro de cadmio, por su eficacia en la deposición y por el brillo que se consigue. También se puede usar un baño de fluoroborato.

**2.1.6. Estañado**

Se usa por su alta resistencia a la corrosión y al deslustrado, es soldable, blando y dúctil. Se utiliza como recubrimiento en elementos de cocina, evaporadores de frigoríficos, partes de lavadoras, etc.

Los baños que más se emplean son los de estañado alcalino, sulfato de estaño y halogenato de estaño.

Tras el recubrimiento electrolítico las piezas pasan inmediatamente a un baño de aclarado para evitar que se seque la disolución en la superficie y perjudique la calidad del recubrimiento. El último baño de aclarado suele realizarse en caliente (50-60°C) para ayudar al posterior secado por aire caliente a unos 70°C.

Las concentraciones de los componentes del baño electrolítico principal se controlan periódicamente, cada una o dos semanas, y se añaden los reactivos necesarios y se reponen los ánodos gastados (cuando son solubles en la disolución electrolítica).

Los tanques de recubrimiento se limpian completamente una o dos veces al año, usando agua y detergente.

**2.2. RECUBRIMIENTOS QUÍMICOS O POR CONVERSIÓN**

La pieza metálica se introduce en una solución de sales de un metal más noble, y mediante un proceso de oxidación-reducción se deposita este metal sobre la pieza, formándose una capa de óxido metálico sobre la superficie. Generalmente la reacción tiene lugar en presencia de corriente eléctrica, aunque no siempre.

Algunos ejemplos son:

**2.2.1. Anodizado de aluminio o titanio**

Disolución de ácido sulfúrico, ácido oxálico o ácido crómico a una temperatura entre 10 y 40°C ligeramente agitado.

**2.2.2. Pavonado**

Recubrimiento de hierro de una capa de óxido ferroso-férrico.

**2.2.3. Fosfatado**

Recubrimiento no metálico, que consiste en la conversión de la superficie en fosfato, que proporciona resistencia a la corrosión y mejora el poder absorbente para la aplicación de pinturas.

**2.2.4. Cromado**

Recubrimiento de una superficie metálica con una capa mixta de óxido de cromo metal (por electrólisis ácida o básica).

### 2.2.5. Coloración de metales

Acero, cobre, aluminio y sus aleaciones por motivos estéticos.

## 2.3. RECUBRIMIENTOS METÁLICOS POR INMERSIÓN

Se realiza en un baño de metal puro en estado líquido (fundido) en el que se introduce la pieza a cubrir durante un corto espacio de tiempo, dependiendo de la capacidad de aleación superficial entre los dos metales. Se suele emplear para recubrir acero o hierro con cinc, estaño o aluminio (metales de bajo punto de fusión).

Otras técnicas de recubrimientos metálicos no electrolíticas son:

- Difusión del metal en estado sólido o vapor.
- Rociado.
- Mecánica (el metal de recubrimiento se coloca a gran presión sobre la pieza).
- Deposición con vapor.
- Soldado en frío (recubriendo con metal en polvo).

En general, las propiedades del revestimiento metálico dependen de factores físicos, como la densidad de corriente y la temperatura del baño, y de factores químicos como la concentración de los baños, pH, tipo y concentración de iones metálicos, aniones, complejantes, tensoactivos y otros aditivos específicos. Estos factores son los que se deben controlar a lo largo del proceso.

Para poder llevar a cabo estas operaciones y trasladar las piezas de un baño a otro se emplean barriles rotatorios, si el tamaño de las piezas es pequeño, y soportes si las piezas son grandes. Estos elementos son muy importantes porque están muy relacionados con la contaminación de los baños, como analizaremos más adelante. El desplazamiento de éstos entre los baños puede ser manual o automático, lo cual también influye en gran medida en aspectos medioambientales.

La calidad del recubrimiento se mide según dureza, flexibilidad, finura, porosidad, estado de las fisuras, fragilidad, brillo, adherencia, espesor, etc. de la superficie de las piezas.

Los recubrimientos metálicos más extendidos son los electrolíticos, en los que se centra este trabajo.

Hay que insistir en que entre una etapa y otra se realizan aclarados cuya función es diluir la película de producto (desengrase, decapado, electrodeposición, etc.) y detener la acción del producto de tratamiento. Además, disminuye así la contaminación del baño siguiente por reactivos del baño anterior.

## 3. ACABADOS

El acabado definitivo de la pieza puede consistir en varios procesos:

- Coloreado: empleando un colorante orgánico, normalmente, y con una función decorativa.

- Pintado: cuando el recubrimiento se ha realizado para dar a la superficie características de mayor adherencia de pinturas.
  - Protección del recubrimiento metálico con sales metálicas, barnices, etc.
  - Sellado: hidratación a temperatura próxima a la ebullición con agua desmineralizada y a pH 5,5-6,5 para cerrar los poros que hayan podido quedar en ciertos recubrimientos, y para conseguir un aumento del volumen de la capa protectora. Esta operación también es llamada colmatación. Se consigue el mismo efecto sumergiendo la pieza (normalmente anodizada) en una disolución caliente de dicromato diluido.
- Tras estas operaciones de acabado, se procede al secado definitivo de la pieza, normalmente con aire caliente.

Por otro lado, además del proceso principal, en los talleres y líneas de Tratamiento de Superficies tienen lugar otras operaciones o procesos que pueden tener gran incidencia medioambiental. Las tareas de mantenimiento y limpieza, el tratamiento de aguas residuales, desmetalizado de piezas rechazadas y bastidores, tratamiento de aguas de proceso, etc., son ejemplos de ello. Sin embargo, esta guía se centra en el proceso principal, y más concretamente en los recubrimientos electrolíticos, por ser éstos bastante habituales y tener un gran potencial de minimización de residuos.

**FICHA G-4**  
**RELACIÓN DE MATERIAS PRIMAS**

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Piezas o láminas metálicas o plásticas  <b>NÚMERO:</b> M1  <b>ETAPA:</b>            1. Tratamientos previos:            1.1. Desengrase  <b>ESTADO FÍSICO:</b>            Sólido</p>	<p><b>Función de la materia prima y otros datos relevantes:</b> Las piezas que se desean recubrir suelen llegar al proceso procedentes de las etapas de corte y pulido, por lo que llevan grasa (taladrinas de los fluidos de corte), impurezas y suciedad (arenas, restos de piedra de pulir, etc.). Pueden venir de una empresa exterior o de la misma empresa, de procesos anteriores.</p> <p>Cada tipo de pieza, según su posterior aplicación, necesita un recubrimiento diferente, en función de las características de dureza, resistencia a la corrosión, etc. que se quieran conseguir. El acero, acero inoxidable, aluminio, cobre, cinc, etc. son los metales base que más comúnmente reciben este tipo de tratamiento</p> <p>A continuación se enumeran los empleos más usuales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuitos impresos y acabados decorativos: se recubren con cobre.</li> <li>• Diferentes piezas que necesitan resistencia al desgaste y corrosión, decoración, etc., se recubren con níquel.</li> <li>• Acabados decorativos o industriales de piezas con cromo.</li> <li>• Protección de piezas de hierro y de acero con cinc.</li> <li>• Protección contra la corrosión de piezas mediante recubrimiento con cadmio.</li> <li>• Mejora de soldaduras y de las propiedades del recubrimiento de piezas de acero, aluminio, cobre y aleaciones de cobre. Se recubren con plomo y aleaciones de plomo.</li> <li>• Mejora de la soldadura, protección contra la corrosión y las propiedades antifricción de algunas piezas por medio de la electrodeposición de estaño o aleaciones de estaño.</li> <li>• Piezas usadas en ingeniería (interruptores, semiconductores, etc.) y piezas decorativas se recubren con oro.</li> <li>• Camisas de cilindros, se recubren con hierro (se utiliza poco).</li> <li>• Carrocerías de automóviles: fosfatación y cromatación.</li> <li>• Tornillería: cincado electrolítico.</li> <li>• Embalajes metálicos para alimentación, se recubren con estaño.</li> <li>• Piezas pequeñas de aluminio se suelen someter a oxidación anódica y satinado.</li> <li>• Equipos de menaje y aparatos de calefacción: niquelado químico.</li> </ul>			

**FICHA G-5**  
**RELACIÓN DE MATERIAS SECUNDARIAS**

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Electrodo de metal <b>NÚMERO:</b> S1 <b>ETAPA:</b> 2. Recubrimientos metálicos: 2.1. Electrodeposición <b>ESTADO FÍSICO:</b> Sólido</p>				<p><b>Función de la materia secundaria y otros datos relevantes:</b> Los electrodos metálicos actúan como ánodo (placa positiva de la célula electrolítica y polo negativo de la fuente suministradora de energía eléctrica). Los ánodos pueden ser solubles o insolubles en el electrolito:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los insolubles se emplean cuando se desea descomponer el electrolito que suele ser una sal del metal con el que se quiere recubrir. Este tipo de ánodos son generalmente de platino o carbón (grafito) y en algunos casos de plomo, antimonio, estaño, plata, etc. Para mantener la concentración de metal se añade disolución de electrolito.</li> <li>• Los ánodos solubles se utilizan cuando se desea mantener la composición de la disolución del electrolito, es decir, la concentración de metal que se deposita, durante el proceso electrolítico. En este caso, el electrodo es soluble en la disolución solamente cuando pase la corriente eléctrica, y en un grado igual que el del metal depositado. Este tipo de ánodos se utilizan cuando se quiere recubrir con cobre, níquel, plomo (en algunos casos), y cadmio.</li> </ul> <p>Al pasar la corriente eléctrica a su través, se produce la oxidación del metal, es decir, el metal sólido pasa a la disolución como catión metálico.</p> <p>Los ánodos de metal suelen ser de gran pureza, para que se mantenga limpio el baño electrolítico. Una vez agotados, los refira la misma empresa que los suministra para su reciclaje.</p>

DÁTOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Disoluciones de electrodeposición</p> <p><b>NÚMERO:</b> S2</p> <p><b>ETAPA:</b></p> <p>2. Recubrimientos metálicos:</p> <p>2.1. Electrodeposición</p> <p><b>ESTADO FÍSICO:</b></p> <p>Líquidos</p>	<p><b>Función de la materia secundaria y otros datos relevantes:</b> Las disoluciones de electrodeposición más comunes, según el metal con el que se desea recubrir, son las siguientes:</p> <p><b>COBRE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disolución de cianuro ordinario: CuCN, NaCN y CaCO<sub>3</sub>.</li> <li>Disolución de cianuro Rochelle: CuCN, NaCN, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH y sal de Rochelle.</li> <li>Disolución de sulfato de cobre: CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (40 g/l), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (130 g/l), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (40 g/l). Otra posibilidad: CuSO<sub>4</sub> (150 g/l), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (60 g/l), HNO<sub>3</sub> (450 g/l).</li> <li>Disolución de fluoroborato: Cu(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, HBF<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.</li> </ul> <p><b>NÍQUEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño de tipo Watt: NiSO<sub>4</sub> (240-300 g/l), NiCl<sub>2</sub> (45-90 g/l), Ni, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>Disolución de sulfamato: NiCl<sub>2</sub> (10 g/l), Ni(SO<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (300 g/l), Ni, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (30 g/l).</li> <li>Disolución de fluoroborato: NiCl<sub>2</sub>, Ni(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, Ni, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.</li> </ul> <p><b>CROMO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ácido crómico: CrO<sub>3</sub> (400 g/l para cromo duro y 250 g/l para cromo decorativo), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (4 g/l cromo duro, 2,5 g/l decorativo), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, HF, H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, cloruro, fluoruro o nitrato de cromo (20 g/l de cromo decorativo, 0,1 g/l cromo duro).</li> </ul> <p><b>CINC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño cianurado: Zn(CN)<sub>2</sub>, NaOH (35-55 g/l), NaCN (23-130 g/l), Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub> o Na<sub>2</sub>S<sub>4</sub>.</li> <li>Baño no cianurado: Zn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, citrato sódico, EDTA, NaOH (50 g/l), Na<sub>2</sub>Zn(OH)<sub>4</sub> (30 g/l).</li> </ul> <p><b>CADMIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño cianurado: CdO (30 g/l), Cd, NaCN (99 g/l), NaOH (18 g/l), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (20 g/l).</li> </ul> <p><b>PLOMO Y SUS ALEACIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño de fluoroborato: Pb(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (100 g/l), HBF<sub>4</sub> (100 g/l), H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> (20 g/l), cola, resorcinal, pectona, gelatina o hidroquinona (5 g/l).</li> </ul> <p><b>ESTAÑO O ALEACIONES DE ESTAÑO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño de sulfato: SnSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, gelatina, b-naftol.</li> <li>Baño de fluoroborato: Sn, HBF<sub>4</sub>, gelatina, b-naftol.</li> </ul> <p><b>ORO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Baño cianurado: AuCN, KCN (12-14 g/l), K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, aleación de metales.</li> </ul> <p><b>HIERRO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disolución de cloruro: FeCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>.</li> <li>Disolución de sulfato y cloruro: FeCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, FeSO<sub>4</sub>.</li> <li>Disolución de fluoroborato: Fe(BF<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, NaCl, FeCl<sub>2</sub>.</li> </ul> <p><b>PLATA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disolución cianurada: AgCN, KCN, NaCN, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.</li> </ul> <p><b>ALEACIONES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disoluciones de NH<sub>4</sub>SO<sub>2</sub>NH<sub>2</sub> y los cationes de Fe, Co, Ni, Cd, Zn, Rh, Ag, Pb.</li> <li>Se suele trabajar en medio ácido o en medio complejante alcalino (cianuros) para evitar la precipitación del hidróxido correspondiente.</li> </ul>			

**FICHA G-6**  
**RELACIÓN DE MATERIAS AUXILIARES**

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Agua <b>NÚMERO:</b> A1 <b>ETAPA:</b> Todas <b>ESTADO FÍSICO:</b> Líquido</p>	<p><b>Función de la materia auxiliar y otros datos relevantes:</b> Las utilidades específicas del agua son :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavados para eliminar el líquido adherido a la superficie después de cada operación.</li> <li>• Lavado de fugas, goteos, etc. en las zonas de operación.</li> <li>• Lavado del aire que pasa por los ventiladores.</li> <li>• Preparación de los baños de proceso.</li> <li>• Lavado de los equipos cuando se vacían los baños agotados (bombas, tanques, filtros, etc.).</li> <li>• Agua de enfriamiento.</li> </ul> <p>El volumen de los baños varía desde los 400 litros hasta más de 200.000 l. Los mayores volúmenes corresponden a tratamientos de piezas voluminosas o al recubrimiento de bombas de acero prefabricadas. El caudal de agua óptimo suele ser aquél que permita una renovación completa del volumen de agua de la cuba cada hora. El 90 % del consumo total de agua se realiza en los enjuagues.</p> <p>En cuanto a la calidad, debe tener una dureza mínima en carbonatos y fosfatos, ya que se producirían problemas de mantenimiento en las instalaciones (limpieza de cubas y desagües, etc.) y se reduciría la eficiencia de los aclarados. En muchos casos se recomienda el uso de agua desionizada.</p>			



DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Aditivos  <b>NÚMERO:</b> A2  <b>ETAPA:</b> Todas  <b>ESTADO FÍSICO:</b>  Líquido</p>	<p><b>Función de la materia auxiliar y otros datos relevantes:</b> En los baños, tanto de desengrase, decapado, como de electrodeposición, se suelen añadir diferentes tipos de aditivos para aumentar la eficacia del proceso. A continuación se exponen las características y funciones de algunos de ellos.</p> <p><b>HUMECTANTES:</b> Se utilizan para facilitar el mojado de la superficie a recubrir y reducir así los arrastres. Pueden ser no iónicos y aniónicos. Los no iónicos (no se disocian en iones en la disolución) son buenos humectantes y buenos emulsionantes. Los más empleados son los alcoxilatos, especialmente etoxilatos.</p> <p>Tanto los aniónicos como los no iónicos contienen un grupo hidrófobo y un grupo hidrófilo. Se caracterizan por su gran poder detergente y por ser poco espumantes. Son muy estables en aguas duras y no pueden ser utilizados a valores de pH muy elevados.</p> <p><b>INHIBIDORES:</b> Se usan en los baños de decapado para que la acción se limite a las capas de óxido, evitando el ataque a la superficie metálica y el desprendimiento de hidrógeno, con la consiguiente fragilización por captación de éste. Los inhibidores forman películas de absorción sobre la superficie metálica, por lo que es necesaria una inmersión en soluciones alcalinas de neutralizado para no perturbar procesos posteriores. Existe una gran variedad de inhibidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Decapado con ácido clorhídrico: dodecilamina, hexametil-tetramina, urotropina, isopropanol, etc.</li> <li>• Para el ácido sulfúrico: tiourea, feniltiourea, etc.</li> </ul> <p>Se añade entre un 0,5-1 % de la concentración de ácido. La eficacia depende de su fuerza, su concentración respecto a la de ácido y la presencia de iones ferrosos que disminuye el efecto protector del inhibidor.</p> <p><b>ANTIESPUMANTES:</b> Se añaden cuando el decapado se aplica en bombo o en forma de ducha o spray. Se usa el trietilhexilfosfato o polialcoholes de alto peso molecular.</p> <p>También se pueden usar siliconas, aunque no es recomendable.</p> <p><b>REGULADORES ORGÁNICOS:</b> Se usan en los decapados o mateados de aluminio con NaOH. Son glutamatos y el sorbitol.</p> <p><b>ABRILLANTADORES:</b> Los agentes abrillantadores más usados son del tipo aril-polisulfonatos, sulfonimidias (ácido metilén disulfónico, p-tolueno, sulfonamida y sacarina).</p> <p><b>TENSOACTIVOS:</b> Se añaden a los baños para reducir la tensión superficial y prevenir la formación de manchas. El que más se usa es el lauril sulfato de sodio.</p>			

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<b>NOMBRE:</b> Disolventes <b>NÚMERO:</b> A3 <b>ETAPA:</b> 1. Tratamientos previos: 1.1. Desengrase químico <b>ESTADO FÍSICO:</b> Líquido	<b>Función de la materia auxiliar y otros datos relevantes:</b> El desengrase elimina de la superficie del metal impurezas de tipo orgánico como lubricantes, aceites de corte, pintura, barniz, etc. Para el desengrase de piezas pequeñas se emplean baños de desengrase con disolventes orgánicos, halogenados o no.  Disolventes halogenados: tricloroetano, tricloroetileno, percloroetileno, cloruro de metileno, clorofluorocarbonados (CFC 11, 12, R2 y 113).  Disolventes no halogenados: xileno, tolueno, acetato de etilo, white spirit, cetonas, etc.			

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<b>NOMBRE:</b> Desengrasantes alcalinos <b>NÚMERO:</b> A3 <b>ETAPA:</b> 1. Tratamientos previos: 1.1. Desengrase químico <b>ESTADO FÍSICO:</b> Líquido	<b>Función de la materia auxiliar y otros datos relevantes:</b> Mediante el desengrase se eliminan de la superficie del metal o plástico impurezas de tipo orgánico: lubricantes, aceites de corte, pintura, barniz, y otros tipos de suciedades. Los baños de desengrase más utilizados son los alcalinos, compuestos de sosa, carbonatos, permanganatos, fosfatos, ortofosfatos, silicatos alcalinos, jabones, detergentes sintéticos, etc. También se pueden emplear baños de desengrase químico cianurados.  La composición aproximada de algunos baños de desengrase se muestra a continuación:  Cianurado: NaOH (2-60 g/l), NaCN (50-200 g/l), Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (10-60 g/l).  Nitritado: NaOH (40-50 g/l), Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (5-10 g/l), NaNO <sub>2</sub> (5-10 g/l).  Fosfatado: NaOH (10-20 g/l), Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (1-5 g/l), fosfatos (5-10 g/l).  Silicatos: NaOH (40-50 g/l), Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (5-10 g/l), Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (1-5 g/l).			

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<p><b>NOMBRE:</b> Decapantes  <b>NÚMERO:</b> A4  <b>ETAPA:</b>            1. Tratamientos previos:            1.2. Decapado químico  <b>ESTADO FÍSICO:</b>            Líquido</p>	<p><b>Función de la materia auxiliar y otros datos relevantes:</b> Con el decapado se eliminan los óxidos metálicos de la superficie de la pieza. El decapado químico es el que más se usa y puede ser en disolución acuosa ácida o básica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio ácido: Se sumerge el metal en un ácido diluido, generalmente sulfúrico del 5-20 % a 65-88°C, al que se le añade un inhibidor (tiourea, quinona, etc.). También se usa bastante ácido clorhídrico al 18% en peso y a temperatura ambiente o en caliente hasta 90°C; ácido fluorhídrico al 0,5-3 %; ácido fosfórico; ácido nítrico, en la mayoría de los casos combinado con otros ácidos: fluorhídrico, sulfúrico o clorhídrico; o ácido crómico (a la vez se forman capas aislantes de cromo). En general, la concentración del ácido en los baños se sitúa alrededor del 20% en peso, y se agotan cuando la concentración de ácido es del orden del 2-7 %. La composición más habitual de los baños es la siguiente:               <p style="margin-left: 20px;">Decapado acuoso con ácidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Piezas de cobre: 130 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 40 g/l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ó 450 g/l de HNO<sub>3</sub> y 600 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>- Piezas de aceros comunes: 170 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ó 140 g/l de HCl.</li> <li>- Piezas de hierro fundido: 150 g/l de HF y 300 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>- Piezas de acero inoxidable: 150 g/l de HNO<sub>3</sub> y 20 g/l de HF ó 350 g/l HNO<sub>3</sub>, 40 g/l de HCl, 110 g/l de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> y 400 g/l de AcOH.</li> <li>- Aluminio: 350 g/l de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 80 g/l de CrO<sub>3</sub>.</li> <li>- Aleaciones de cinc: 55 g/l de HCl, 250 g/l de CrO<sub>3</sub>.</li> </ul> </li> <li>• Medio básico: Se realiza el desengrase y el decapado a la vez, haciendo pasar una corriente eléctrica por la pieza metálica sumergida en un baño de sosa. También se pueden usar cianuros para el decapado básico. La composición más habitual de los baños es la siguiente:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminio: 40 g/l de NaOH.</li> <li>- Acero: 120 g/l de NaOH y 80 g/l de KMnO<sub>4</sub>.</li> </ul> </li> </ul>			

**FICHA G-7**  
**RELACIÓN DE PRODUCTOS TERMINADOS**

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<b>NOMBRE:</b> Piezas recubiertas con metal <b>NÚMERO:</b> <b>ETAPA:</b> 2. Recubrimientos metálicos: 2.1. Electrodeposición <b>ESTADO FÍSICO:</b> Sólido	<b>Otros datos relevantes:</b> El metal se recubre para conseguir unas determinadas características de dureza, resistencia, aspecto, etc. El tiempo que debe durar la electrodeposición depende de la cantidad y espesor requerido. Los más comunes oscilan entre la 5 y las 50 micras, aunque en casos especiales puede llegar a las 400 micras. Tras el recubrimiento, la pieza se puede someter a algunas operaciones de acabado, como la pintura, el coloreado, sellado, etc.			

**FICHA G-8**  
**RELACIÓN DE SUBPRODUCTOS**

DATOS GENERALES	PRINCIPALES COMPON. (%)	COMPONENT. INDESEAD. (%)	CANTIDAD ANUAL	COSTE ANUAL
<b>NOMBRE:</b> Electrodo de metal agotados <b>NÚMERO:</b> <b>ETAPA:</b> 2. Recubrimientos metálicos: 2.1. Electrodeposición <b>ESTADO FÍSICO:</b> Sólido	<b>¿Se pueden reutilizar o vender como subproductos?. Otros datos relevantes:</b> Estos electrodos se agotan cuando en su superficie se forma una capa de óxidos del metal y sulfatos (según la composición de la disolución electrolítica). En la mayoría de los casos, son retirados por la empresa que los suministra, para reciclarlos.			

**FICHA G-9**  
**CARACTERIZACIÓN DE EMISIONES Y RESIDUOS**

Estas fichas se han cumplimentado con las prácticas más habituales. En una empresa particular se cumplimentarán con la información real de ésta. Será útil para detectar actuaciones ilegales, ineficiencias, etc. y plantearse si existen mejores alternativas para minimizar, reciclar o tratar cada una de las corrientes residuales. La información recogida en esta ficha ayudará a cuantificar los costes asociados a cada corriente/residuo (Ficha G-10) y a detectar los problemas medioambientales que se detallan en las Fichas G-11. Las opciones de minimización esbozadas en esta ficha se detallarán en las Fichas S y E.

<b>NOMBRE:</b>	Disolventes agotados de desengrase
<b>NÚMERO:</b>	R1
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	1.1. Desengrase químico
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido y gaseoso o vapores asociados por volatilización de los disolventes.
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuos peligrosos <sup>4</sup> : 140102 Disolventes de desengrase de metales (halogenados) 140103 Disolventes de desengrase de metales (no halogenados).
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Disolventes (desengrase con disolventes).
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Aceites, grasas y otras impurezas.
<b>CUÁNDO, CÓMO : Y POR QUÉ SE GENERA</b>	Los disolventes se agotan y pierden sus propiedades desengrasantes por su alto contenido en aceites y grasas (20-50 %) procedentes de las piezas.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se debe mantener aislada y en recipientes cerrados y darle un tratamiento especial (destilación).
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	Sí. Por destilación se pueden regenerar los disolventes para volver a utilizarlos.
<b>FRECUENCIA CON QUE SE EVACUA:</b>	Evacuación intermitente.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Los disolventes agotados suelen enviarse a un gestor externo que los regenera mediante destilación.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Ley de Aguas, Ley de Residuos Tóxicos y Peligrosos, Ley de protección del Medio Ambiente Atmosférico, Normativa municipal de vertido, si existe. Reglamento de transporte por carretera, cuando interviene un gestor externo.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Los disolventes son tóxicos porque son muy persistentes, bioacumulables y muy volátiles, su inhalación, contacto con la piel u ojos es perjudicial.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Mediante las buenas prácticas de operación y mantenimiento se puede alargar la vida de estos disolventes y minimizar las pérdidas por volatilización. Se pueden reciclar y regenerar interna o externamente y, en último término, destruir térmicamente.

(<sup>4</sup>) Residuos peligrosos según la Lista Europea de Residuos Peligrosos. Decisión del Consejo de 22 de Diciembre de 1994, publicada en España en el R.D. 952/97 (Anexo I).

<b>NOMBRE:</b>	Baños alcalinos agotados de desengrase
<b>NÚMERO:</b>	R1
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	1.1. Desengrase químico
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido y vapores o neblinas asociadas por evaporación de los baños calientes.
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuo peligroso: 110107 Baños alcalinos sin cianuros ni cromo hexavalente.
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Aceites, grasas y otras impurezas, fangos jabonosos, tenso-activos y otros aditivos, y productos alcalinos como: carbonatos, sosa, permanganatos, etc., según la composición del baño de desengrase.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Las disoluciones alcalinas se agotan y pierden sus propiedades desengrasantes por su alto contenido en aceites y grasas (20-50 %) procedentes de las piezas.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se debe mantener aislada y darle un tratamiento físico-químico.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	Sí. Tratamiento físico-químico (neutralización) de los baños alcalinos.
<b>FRECUENCIA CON: QUE SE EVACUA</b>	Evacuación intermitente.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Las disoluciones alcalinas se envían a una planta de tratamiento físico-químico interna o externa.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Ley de Aguas, Ley de Residuos, Normativa municipal de vertido, si existe. Reglamento de transporte por carretera, cuando interviene un gestor externo.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Los baños alcalinos tienen una elevada alcalinidad (corrosividad) tóxica si se vierte a los cauces públicos o alcantarillado.
<b>OTROS DATOS RELEVANTES:</b>	Pueden llevar algunos metales procedentes de la superficie de las piezas metálicas.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Sí, en general, se puede alargar la vida de estos baños y evitar arrastres. Finalmenté se pueden neutralizar y eliminar las grasas antes del vertido.

<b>NOMBRE:</b>	Aguas de enjuague de desengrase
<b>NÚMERO:</b>	R2
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	1.1.A. Aclarados del desengrase
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Aguas básicas diluidas
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Agua
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Alcalinidad o restos de disolventes, grasas, aditivos, arenas, etc.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Aclarado de las piezas después del desengrase, para que no se contamine el baño siguiente con los productos desengrasantes (disolventes, compuestos alcalinos) y aditivos.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se suele verter a la alcantarilla
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	A veces tratamiento físico-químico in situ, previo al vertido.
<b>FRECUENCIA CON QUE SE EVACUA:</b>	Evacuación continua, ya que los lavados se suelen alimentar y evacuar en continuo. El volumen de la cuba se renueva cada hora, como mínimo.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Alcantarillado.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril, Ley de Aguas. Normativa municipal de vertido, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	No suelen causar problemas porque están diluidas.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Sí. Optimizar la técnica de aclarado y reducir arrastres.

<b>NOMBRE:</b>	Baños agotados de decapado químico
<b>NÚMERO:</b>	R3
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	1.2. Decapado químico
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido y gases o neblinas, si se trabaja en caliente.
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuos peligrosos: 110105/110106 Baños ácidos de decapado, sin cianuros ni cromo hexavalente; 110107 Baños alcalinos sin cianuros ni cromo VI.
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Ácidos
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Elevada acidez o basicidad, metales y aditivos (humectantes, tensoactivos, etc.)
<b>CANTIDAD:</b>	Aproximadamente 40 l de baño agotado de ácido sulfúrico/t acero decapado o 75 l/t de ácido clorhídrico.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	La disolución de decapado se agota por su contenido en óxidos metálicos, grasas u otro tipo de suciedad.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí. Se envía a una planta de tratamiento físico-químico interna o externa.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	Tratamiento físico-químico de neutralización de los ácidos o bases y precipitación de metales.
<b>FRECUENCIA CON: QUE SE EVACUA</b>	Evacuación intermitente
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Evacuación a planta de tratamiento físico químico.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Ley de Aguas, Ley de Residuos y Ley de protección del Medio Ambiente Atmosférico. Normativa municipal de vertido, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Alta corrosividad de ácidos o bases. Algunos aditivos son tóxicos. Contenido medio en metales. Al trabajar en caliente se producen emisiones tóxicas.
<b>OTROS DATOS RELEVANTES:</b>	Se consideran agotados si el contenido en ácido libre es del 8 % de sulfúrico y 8 % de hierro, o el 1-3 % de clorhídrico libre y 20 % de hierro en disolución. En el fondo de los baños se van formando lodos con metales, grasas, etc. que hay que ir separando.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Alargamiento de la vida de los baños, mediante las buenas prácticas. Reciclado de los ácidos. Tratamiento físico químico de los baños y fangos residuales.



<b>NOMBRE:</b>	Aguas de enjuague del decapado
<b>NÚMERO:</b>	R4
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	1.2.A. Aclarado tras el decapado
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Aguas ácidas o básicas diluidas
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Agua
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Acidez o basicidad, metales (fundamentalmente hierro procedente del metal base), aditivos del decapado diluidos.
<b>CANTIDAD:</b>	3-60 m3/h
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Aclarado de las piezas después del decapado para limpiar la superficie de los productos químicos del decapado, y así no contaminar el baño electrolítico posterior.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se suele verter directamente a la alcantarilla.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	A veces tratamiento en planta físico-química interna.
<b>FRECUENCIA CON: QUE SE EVACUA</b>	Evacuación continua.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Alcantarillado
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril. Ley de Aguas. Normativa municipal de vertido, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Por estar muy diluidas, los compuestos tóxicos que contienen no provocan un fuerte impacto, aunque convendría tratarlas.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Optimizar el tipo de baños para reducir el consumo de agua, y por tanto el volumen de agua a tratar.

<b>NOMBRE:</b>	Baños de electrodeposición agotados
<b>NÚMERO:</b>	R5
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	2. Recubrimiento electrolítico
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuo peligroso: 110101 Residuos con cianuros y metales pesados, 110103 Cromatizados o pasivados crómicos, 110106 Baños ácidos, 110107 Baños alcalinos.
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Metales de recubrimiento.
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Ácidos, álcalis, cianuros y aditivos.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Reemplazo periódico de los baños de recubrimiento electrolítico agotados o contaminados por otros compuestos químicos.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se mantiene aislada para someterla a tratamiento.
<b>¿RECIBE ALGUN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	Tratamiento con álcalis para precipitar los metales y, en algunos casos, posterior recuperación de los metales de los fangos.
<b>FRECUENCIA CON QUE SE EVACUA:</b>	Evacuación intermitente.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Planta de tratamiento físico-químico (neutralización).
<b>NORMAS/LEGISLACION</b>	Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril. Ley de Aguas. Normativa municipal de vertido, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS: -</b>	Los cianuros contenidos en estas disoluciones son muy tóxicos. Los metales pesados en grandes concentraciones son tóxicos para animales y plantas por su bioacumulación. Interfieren en los tratamientos biológicos de las depuradoras urbanas.
<b>OTROS DATOS RELEVANTES:</b>	En el fondo de las cubas se van acumulando fangos metálicos que deben separarse por filtración, periódicamente.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Alargar la vida útil de los baños mediante las buenas prácticas. Recuperación de los metales valiosos que contiene. En último término, tratamiento físico-químico: precipitación de los metales.

<b>NOMBRE:</b>	Aguas de enjuague de electrodeposición
<b>NÚMERO:</b>	R6
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	2.A. Aclarados tras el recubrimiento metálico
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Agua residual industrial
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Metales y agua
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Ácidos o bases diluidos, metales, aditivos y, en algunos casos, cianuros.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Enjuague de las piezas después del recubrimiento, para diluir la película de producto que recubre la pieza.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se suele verter a la alcantarilla y en algunos casos se recuperan los metales que contienen y se recicla el agua.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	A veces tratamiento físico-químico en planta físico-química in situ.
<b>FRECUENCIA CON QUE SE EVACUA:</b>	Evacuación continua
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Alcantarillado
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril. Ley de Aguas y normativa municipal de vertido de la zona, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	No causan problemas muy importantes porque están muy diluidas. Los metales pesados son bioacumulables y, si el vertido continúa durante mucho tiempo, sí puede causar problemas.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Optimización del tipo de baño. Recuperación de metales con reciclado de las aguas depuradas a los aclarados.

<b>NOMBRE:</b>	Lavado de fugas y derrames
<b>NÚMERO:</b>	R7
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	Todas en general y operaciones auxiliares de limpieza.
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Líquido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Industrial, puede ser residuo peligroso, dependiendo del baño u operación de la que proceda.
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Metales
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Ácidos, bases, cianuros, metales, tensoactivos y otros aditivos.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Cuando se limpian fugas y derrames producidos por negligencia, accidente o por mantenimiento insuficiente de los sistemas de conducción, bombeo y almacenamiento.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se vierte a la alcantarilla o se mezcla con otras corrientes residuales.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	Se unen a otras corriente residuales para ser tratadas conjuntamente o se vierten a la alcantarilla sin tratarse.
<b>FRECUENCIA CON QUE SE EVACUA:</b>	Discontinuo
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Alcantarillado, generalmente.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Real Decreto 849/1986 de 11 de Abril. Ley de Aguas y normativa municipal de vertido de la zona, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Depende del tipo de fuga. Puede llevar componentes tóxicos en elevada concentración, cianuros y cromo, por lo que su impacto puede ser muy importante.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Evitar su generación con las buenas prácticas de operación y mantenimiento. Si se producen, deben tratarse junto a corrientes residuales de composición similar.

<b>NOMBRE:</b>	Fangos
<b>NÚMERO:</b>	R8
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	Tratamiento de aguas residuales (aclarados y baños de proceso). Mantenimiento.
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Pastoso
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuos peligrosos: 110108 Lodos de fosfatado, 190201 Lodos con hidróxidos metálicos, 190201 Lodos galvánicos con cobre y/o estaño, etc.
<b>COMPONENTES ÚTILES:</b>	Metales.
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Cianuros, sulfuros, carbonatos, metales pesados.
<b>CUÁNDO, CÓMO Y POR QUÉ SE GENERA:</b>	Tratamiento de las aguas residuales. Eliminación de los metales cuando los baños están agotados por precipitación en forma de hidróxidos (a veces sulfuros) y filtrado de las disoluciones para mantenerlas limpias de impurezas sólidas.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se envían a vertederos o a instalaciones de recuperación de metales, previa deshidratación con filtros prensa para reducir el volumen y la humedad.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	A veces se recuperan los metales interesantes que contienen.
<b>FRECUENCIA CON: QUE SE EVACUA</b>	Discontinuos (cuando se cambian los baños agotados) y continuos los del tratamiento de corrientes residuales con metales.
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Vertedero, depósito de seguridad o gestor externo.
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Ley de Residuos y normativa municipal de vertido de la zona, si existe.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Si no se depositan adecuadamente, los metales pesados pueden contaminar cauces o aguas subterráneas por lixiviación.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Reducción de su generación mediante las buenas prácticas y tomando otras medidas de recuperación de los metales antes que precipitarlos. Recuperación de los metales que contienen.

<b>NOMBRE:</b>	Residuos de las operaciones de filtrado
<b>NÚMERO:</b>	R9
<b>ETAPA/ACTIVIDAD:</b>	Baños en general, principalmente electrodeposición
<b>ESTADO FÍSICO:</b>	Pastoso o sólido
<b>CLASE DE EMISIÓN/ RESIDUO:</b>	Residuos peligrosos: 110108 Lodos de fosfatado, 190201 Lodos con hidróxidos metálicos, 190201 Lodos galvánicos con cobre y/o estaño, etc.
<b>COMP. ÚTILES:</b>	Metales.
<b>COMP. INDESEADOS:</b>	Materiales plásticos, carbón activo, tierras diatomeas, silicatos, etc. con metales, cianuros, ácidos, etc.
<b>CUÁNDO, CÓMO: Y POR QUÉ SE GENERA</b>	Filtrado de disoluciones de los baños de recubrimiento, principalmente. También pueden filtrarse los baños de desengrase y decapado.
<b>¿SE MANTIENE AISLADA?, ¿CÓMO?</b>	Sí, se deposita en vertedero.
<b>¿RECIBE ALGÚN TRATAMIENTO?, TIPO</b>	No
<b>FRECUENCIA CON: QUE SE EVACUA</b>	Discontinuo
<b>¿CÓMO SE EVACUA?</b>	Vertedero
<b>NORMAS/LEGISLACIÓN</b>	Ley de Residuos.
<b>PROBLEMAS CAUSADOS:</b>	Si la disposición no es la adecuada, se pueden contaminar aguas subterráneas y suelos con metales pesados.
<b>OTROS DATOS RELEVANTES:</b>	Otros componentes: silíceo, carburos, cenizas, algodón, papel, cerámica, etc.
<b>¿EXISTE UN TRATAMIENTO COMPROBADO?, ¿CUÁL?</b>	Reducir al máximo las impurezas que puedan llegar a los baños, mediante las buenas prácticas de operación y mantenimiento. Una vez generados, deben depositarse en un lugar adecuado.

### FICHA G-10 CUANTIFICACIÓN DE COSTES DERIVADOS DE CADA UNA DE LAS EMISIONES, RESIDUOS Y SUBPRODUCTO

Estas fichas no se pueden rellenar para el sector en su conjunto, sin embargo, dada su importancia para evaluar la rentabilidad de las medidas de minimización que surgirán tras el análisis del proceso, se incluyen vacías en el lugar que les corresponde. Su cumplimentación facilitará a la empresa información sobre los costes asociados a la gestión medioambiental, lo cual ayudará a la internalización de éstos de cara al futuro.

NOMBRE DEL RESIDUO: NÚMERO:			
CONCEPTO	CANTIDAD ANUAL	X COSTE UNITARIO	= COSTE ANUAL
Consumo materias primas en el residuo			
Consumo materias secundarias en el residuo			
Consumo materias auxiliares en el residuo			
Consumo horas/hombre de producción			
1. TOTAL CONSUMO MATERIALES Y MANO DE OBRA			
Recogida interna			
Almacenamiento			
Tratamiento en las instalaciones			
Embalaje			
Transporte			
Tratamiento exterior/ Coste de retirada del residuo			
Canon de vertido			
Otros conceptos			
2. TOTAL COSTES DE ELIMINACIÓN			
3. TOTAL COSTES DERIVADOS DE LA EMISIÓN (1 + 2)			

## FICHA G-11 PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS

### 1. GENERALIDADES DEL SECTOR DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES

En el sector de Tratamiento de Superficies se consume un importante volumen de agua en los aclarados de las piezas entre los distintos baños, lo cual conlleva la generación de igual volumen de aguas residuales con los diferentes contaminantes en disolución. Se generan también con cierta frecuencia baños concentrados debido a su agotamiento o sustitución periódica (1,5-2 años).

Aunque en menor volumen, se generan emisiones a la atmósfera de vapores y neblinas procedentes de los baños que trabajan en caliente o procesos en los que se emplean disolventes. La cantidad es reducida, sin embargo la toxicidad puede llegar a ser muy elevada: ácidos fuertes corrosivos, ácido cianhídrico, disolventes halogenados, etc.

Se generan también lodos con metales de los procesos de filtración de los baños y en mayor cantidad durante el tratamiento de aguas residuales para precipitar los metales que contienen, generalmente en forma de hidróxidos.

Tienen menor importancia, aunque también deben considerarse, las aguas de lavado de la zona de trabajo en la limpieza diaria y, especialmente, cuando se producen fugas y derrames, o durante el mantenimiento anual.

A continuación se presentan las fichas G-11 del Manual MEDIA correspondientes a los Problemas Medioambientales Identificados. Estas fichas han sido elaboradas después del estudio del sector en el que se han analizado los procesos productivos (Fichas G-1 a G-3), las materias primas, secundarias y auxiliares, productos terminados, subproductos y emisiones y residuos (Fichas G-4 a G-9).

Se ha elaborado una ficha G-11 por cada tipo genérico de residuos: emisiones, corrientes residuales líquidas y lodos, describiéndose los problemas medioambientales que potencialmente se pueden producir. Para cada problema medioambiental se indica la etapa o proceso en que aparece, así como los contaminantes que ocasionan dicho problema. También se aporta información de la normativa vigente aplicable y el tratamiento que se da a la emisión o residuo.

### 2. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Para la clasificación de los residuos generados en cada proceso (fichas G-2 y G-9) se ha considerado el contenido de la Ley 10/98 de Residuos, el Real Decreto 833/88 por el que se aprueba el Reglamento de Residuos Tóxicos y Peligrosos, el R.D. 952/97 que modifica el anterior y la Resolución de 17 de noviembre de 1998 por la que se publica el Catálogo Europeo de Residuos.

Respecto a la legislación ambiental, conviene decir que, al llegar a estas fichas, la empresa particular debe estudiar con profundidad la legislación para identificar los requisitos que realmente le afectan. Se trata no sólo de la clasificación de los residuos, sino también las obligaciones del productor de residuos, la documentación necesaria para la gestión de los mismos, las medidas de seguridad en el almacenamiento, manipulación,



transporte, los permisos que hay que solicitar (vertidos, emisiones), canon de vertido, etc. El ámbito será la legislación comunitaria, nacional, autonómica y local.

### 3. PROBLEMAS DETECTADOS

Analizando las fichas G-2: Diagrama de flujo de cada etapa, y G-5: Relación de materias secundarias, se observa que en el sector se utilizan una gran variedad de productos químicos diferentes según el tipo de metal con el que se recubre y el tipo de baño de que se trate, lo que da una idea de la dificultad para generalizar sobre la composición de las aguas residuales. Como ya se ha comentado en otros apartados, ésta es una de las limitaciones de aplicar el Manual a un sector global.

Los problemas medioambientales potenciales que pueden causar los residuos y emisiones caracterizados en las fichas G-9 se describen a continuación. Se han clasificado según sus características físicas: emisiones a la atmósfera en forma de vapores o neblinas, residuos líquidos con mayor o menor concentración de contaminantes, y residuos sólidos o pastosos.

#### 3.1. EMISIONES A LA ATMÓSFERA

##### Descripción del problema medioambiental:

Emisiones a la atmósfera de compuestos volátiles de desengrase (disolventes) y/o vapores y neblinas de los baños de desengrase o decapado ácidos o alcalinos que trabajan en caliente.

- Compuestos volátiles, tales como disolventes, que se usan en algunas empresas para el desengrase de las piezas. Se suelen emplear tricloroetileno, cloroetileno, percloroetileno, etc. Si el baño de desengrase no es hermético, la emisión puede llegar hasta el 85 % del total del consumo de disolvente.
- Vapores y neblinas producidos por la evaporación de la superficie de los baños que trabajan en caliente:
  - Desengrase alcalino.
  - Decapado ácido o básico. Por ejemplo, las emisiones de ácido sulfúrico procedentes del decapado ácido en caliente son aproximadamente el 12 % del ácido total contenido en el baño, y el 9 % en el caso del ácido clorhídrico.
  - Otros baños que trabajan en caliente: de los baños de electrodeposición cianurados se evapora aproximadamente el 8 % como ácido cianhídrico. En los baños de cromado se evapora el 10 % del total de cromo (la mayor parte se recupera).

##### Etapa o actividad involucrada:

Desengrase con disolventes o con álcalis, decapado y electrodeposición en caliente. Se producen principalmente cuando se cambian los baños (también en frío).

**Emisión o residuo causante del problema:**

- **Disolventes:** Son compuestos tóxicos (cancerígenos) por su alta persistencia en el medio ambiente, su baja reactividad y bioacumulación. Pueden reaccionar con los óxidos de nitrógeno y se forma ozono (smog), con sus consiguientes problemas pulmonares, crecimiento de las plantas, etc.
- **Vapores ácidos, alcalinos y con metales:** Por su alcalinidad o acidez, tienen un importante efecto corrosivo de las instalaciones y problemas para los empleados expuestos a ellos en el interior de éstas. Además, estos vapores y neblinas arrastran otros compuestos presentes en los baños y que también pueden ser tóxicos, por ejemplo, metales de los baños de electrodeposición cuando se procede al vaciado de éstos para reemplazarlos por otros nuevos. Los metales contenidos en las neblinas también son perjudiciales para la salud de los empleados (los posibles efectos se detallan más adelante).

**Legislación o reglamento que afecta al problema. Límites legales:**

El Real Decreto 833/1975 de 6 de febrero, por el que se desarrolla la ley 38/1972 de 22 de diciembre de Protección del Medio Ambiente Atmosférico, en su Anexo I establece las normas técnicas de niveles de inmisión y los criterios de calidad del aire para diferentes contaminantes de la atmósfera. Los valores de referencia son:

- **Cloruro de hidrógeno**

Concentración media en 30 minutos	300 mg/m <sup>3</sup> N
Concentración media en 24 horas	50 mg/m <sup>3</sup> N
- **Fluoruro de hidrógeno**

Concentración media en 30 minutos	30 mg/m <sup>3</sup> N
Concentración media en 24 horas	10 mg/m <sup>3</sup> N
- **Plomo molecular**

Concentración media en 30 minutos	50 mg/m <sup>3</sup> N
Concentración media en 8 horas	10 mg/m <sup>3</sup> N
- **Óxidos de nitrógeno (expresado como dióxido)**

Concentración máxima en 30 minutos	400 mg/m <sup>3</sup> N
Concentración media en 1 día	30 mg/m <sup>3</sup> N
Concentración media en 1 año	10 mg/m <sup>3</sup> N

En el Anexo II aparece un catálogo de actividades potencialmente contaminantes de la atmósfera. En el Grupo B se menciona el sector de Transformados metálicos: esmaltado de conductores de cobre y galvanizado, estañado y emplomado de hierro, o recubrimientos con un metal cualquiera por inmersión en un baño de metal fundido.

En el Anexo III se relacionan los compuestos contaminantes de la atmósfera. Aparecen como contaminantes especiales que se generan en el sector que se está estudiando:

- Nieblas de ácido sulfúrico
- Ácido nítrico
- Ácido clanhídrico
- Ácido clorhídrico
- Ácido fluorhídrico
- Compuestos orgánicos de cloro (disolventes clorados)

En la Orden 112/62 de 24 de junio de 1991 por la que se amplía el ámbito de aplicación de la Orden de 12 de noviembre de 1987 a cuatro sustancias que pueden formar parte de determinados vertidos, entre ellos se encuentran el 1-2 dicloroetano, el tricloroetileno y el percloroetileno. Estas tres sustancias se utilizan para el desengrase de piezas metálicas. Los valores límites de las normas de Emisión para instalaciones industriales que generen más de 30 kg/año de residuos son:

**Tabla 4.1. -1**  
**Valores límite de las normas de Emisión**

CONTAMINANTE	VALOR MEDIO (g/l)	
	DÍA	MES
1-2 Dicloroetano	0,2	0,1
Tricloroetano	0,2	0,1
Percloroetileno	0,2	0,1

Los problemas que plantean este tipo de emisiones afectan principalmente a las instalaciones y a los trabajadores (corrosión de las estructuras, problemas respiratorios, etc.). La American Conference of Government Industrial Hygienists y reglamentaciones de la Food and Drug Administration establecen unos valores límite umbrales (VLU) para exposiciones en las zonas industriales:

**Tabla 4.1.-2**  
**Valores límite umbrales de exposición en el lugar de trabajo**

CONTAMINANTE	VLU
Ácido sulfúrico	1 mg/m <sup>3</sup>
Ácido clorhídrico	5 ppm
Ácido nítrico	2 ppm
Ácido fluorhídrico	3 ppm
Ácido crómico	0,05 mg/m <sup>3</sup>
Tricloroetileno	50 ppm
Percloroetileno	50 ppm

En cuanto a los metales que pueden contener las neblinas de los baños de electrodeposición, los valores límite umbral son los siguientes:

**Tabla 4.1. -3**  
**Valores límites umbrales de exposición en el lugar de trabajo**

METAL	VLU
Cromo	0,05 mg/m <sup>3</sup> de aire
Cianuro de cobre (como cianuro)	5 mg/m <sup>3</sup> de aire
Cianuro de cinc (como cianuro)	5 mg/m <sup>3</sup> de aire
Cloruro de cinc	1 mg/m <sup>3</sup> de aire
Sales solubles de hierro	1 mg/m <sup>3</sup> de aire
Compuestos solubles de níquel	0,1 mg/m <sup>3</sup> de aire
Compuestos solubles o polvo de cadmio	0,05 mg/m <sup>3</sup> de aire
Sulfato de estaño	2 mg/m <sup>3</sup> de aire
Compuestos inorgánicos de plomo	0,15 mg/m <sup>3</sup> de aire 1,5 mg/m <sup>3</sup> de aire <sup>5</sup>

**Actual tratamiento o disposición que se da a la emisión:**

En la mayoría de las empresas no reciben ningún tratamiento. En algunas empresas existen lavadores de las gotas de ácidos o bases del decapado, principalmente, con agua. Son absorbidas y de esta forma se evacuan o se devuelven al baño del que proceden.

(<sup>5</sup>) Standard EPA para el aire ambiente.

En el caso de los vapores de disolventes, se intenta reducir la emisión, por el enorme consumo de disolvente que supone la volatilización, tapando los recipientes cuando no se utilizan o aumentando la altura libre de los depósitos.

**¿Existe una solución factible al problema?**

El problema puede solucionarse extendiendo el uso de los lavadores de vapores y nieblas a todas las empresas. Para evitar posibles riesgos para la salud de los empleados se deben utilizar sistemas de ventilación en las instalaciones, y por supuesto, el estricto seguimiento de las Normas de Seguridad e Higiene en el trabajo a este respecto.

### **3.2. CORRIENTES RESIDUALES LÍQUIDAS**

**Descripción del problema medioambiental:**

Las corrientes residuales de las operaciones de preparación de la superficie (desengrase y decapado principalmente), causan un importante efecto negativo sobre los cauces y conducciones a los que se vierten, debido a su toxicidad potencial, su contenido en metales pesados, ácidos y bases, en algunos casos cianuros, disolventes, aceites, grasas, aditivos orgánicos, etc.

Por otro lado, las corrientes residuales de los baños electrolíticos tienen una alta concentración en metales, ácidos, cianuros, ácido crómico y otros compuestos añadidos como quelantes, tampones, inhibidores, abrillantadores, etc. Además, en la reacciones electrolíticas se genera hidrógeno gas en el ánodo que, al desprenderse, arrastra pequeñas gotas de disolución, y por tanto, se producen unas neblinas con la misma composición de la disolución.

En la limpieza de fugas, derrames, goteos, tanques, etc. se generan unas aguas residuales contaminadas con las disoluciones de los baños que se tratan. Pueden llegar a tener una concentración bastante alta en compuestos tóxicos y tensoactivos, que no son aptas para verter directamente.

En líneas generales, estas corrientes residuales se pueden clasificar en dos tipos principales, en función del tratamiento que se les debe dar y su concentración:

- Concentradas: baños de proceso agotados. Evacuación intermitente.
- Diluidos: baños de aclarado o enjuague tras las operaciones de desengrase, decapado y electrodeposición, y aguas de lavado de suelos (fugas, derrames, etc.). Evacuación continua.

**Etapas o actividad involucrada:**

Las etapas que generan estas corrientes residuales son el desengrase, decapado y electrodeposición, con sus respectivos aclarados posteriores, así como las operaciones de limpieza y mantenimiento.

**Emisión o residuo causante del problema:**

- Ácidos y bases: Si están concentrados, son muy corrosivos, por lo que atacan tuberías, depósitos, alcantarillado, e incluso tienen la capacidad de disolver los metales

sedimentables en los ríos, interfiriendo en la vida acuática. Además presentan una gran toxicidad potencial al estar directamente relacionados con la toxicidad de los cianuros, amoníaco, actuación de complejantes, precipitación de metales, etc.

- **Disolventes:** Son productos químicos orgánicos tóxicos para los seres humanos, las plantas y el medio ambiente por su elevada persistencia, son bioacumulables y algunos de ellos son cancerígenos. Muchos de ellos son inflamables, en contacto con la piel y los ojos producen irritabilidad y por inhalación dan dolor de cabeza, efecto narcótico, daños en el sistema respiratorio, efectos mutagénicos y teratogénicos, etc.
- **Cianuros:** Son potencialmente muy tóxicos, ya que en medio ácido se forma ácido cianhídrico (HCN), gas tóxico por ingestión, inhalación y absorción cutánea, y letal para el hombre a concentraciones bajas. Se usa puntualmente para operaciones de desengrase, debido a su toxicidad.
- **Metales pesados:** Estas corrientes suelen llevar metales disueltos y en forma de complejos, principalmente los baños de decapado, ya que se ataca la superficie de la que se extraen cationes del metal base de la pieza.
- **Fluoruros:** El flúor es el elemento más reactivo que existe libre en la naturaleza. Los fluoruros en concentraciones altas son tóxicos para el hombre y los animales por inhalación e ingestión. El fluoruro de hidrógeno es muy corrosivo para la piel y membranas mucosas.
- **Aceites y grasas:** Proceden del mecanizado de las piezas principalmente y se eliminan con el desengrase. Interesa eliminarlas de las corrientes residuales porque interfieren en los procesos posteriores y en los tratamientos, tanto de recubrimiento, como de recuperación de metales mediante resinas, ultrafiltración, electrólisis, etc. Además, plantean problemas de sedimentación si se vierten directamente, sin tratamiento.
- **Aditivos orgánicos:** Se utilizan en muy bajas concentraciones, pero algunos tienen importantes efectos tóxicos, incluso cancerígenos.
- **Los componentes de los baños de electrodeposición son los metales principalmente:**
  - **Cromo:** los compuestos de cromo VI son tóxicos para animales acuáticos, por lo que en los ríos la concentración máxima admitida es de 50-100 mg/l. En las aguas de consumo debe haber menos de 0,01 mg/l, ya que está considerado como cancerígeno para el hombre (según la OSHA). Interfiere en los procesos biológicos a partir de 1 mg/l. Es un agente oxidante muy fuerte y puede reaccionar (incluso violentamente) con muchas sustancias: grasas, proteínas, etc. Por inhalación puede producir cáncer de pulmón o sarcoma, si el contacto es prolongado, corroe la piel.
  - **Cobre:** Es tóxico porque reacciona con facilidad con aminoácidos y proteínas, formando quelatos muy estables. Tiene gran versatilidad como aceptor o donador de electrones. En medio básico precipita como sales carbónicas o se forman compuestos orgánicos menos tóxicos que cuando se encuentra en forma de catión. El cianuro de cobre es tóxico por ir acompañado de cianuro, el cloruro es tóxico por ingestión e inhalación, el sulfato es tóxico por ingestión y un fuerte irritante.

- Cinc: Como el cobre, es tóxico a altas concentraciones por sus efectos quelantes. Interfiere en la absorción del cobre por las plantas. El cloruro de cinc en disolución es un grave irritante para la piel y los tejidos.
- Hierro y manganeso: Tienen propiedades y funciones similares. Existen en gran cantidad en la naturaleza, por lo que son tóxicos sólo en concentraciones muy elevadas.
- Níquel: Es un metal inflamable y tóxico como polvo o humo. Es un agente cancerígeno según la OSHA. El VLU de los compuestos solubles es de 0,1 mg/l. El cianuro de níquel es muy tóxico.
- Cadmio: Es inflamable en forma de polvo. Es tóxico por inhalación del polvo o vapor. Los compuestos solubles son muy tóxicos (cancerígenos).
- Estaño: Los compuestos orgánicos son todos tóxicos. Los inorgánicos, como el cloruro estannoso, son irritantes de la piel y está muy restringido su uso en envases de alimentos. El sulfato también está considerado como tóxico.
- Plomo: Es un metal tóxico por ingestión e inhalación de polvo o humo. Su principal característica es su bioacumulación, por lo que está muy limitado su uso.

**Legislación o reglamento que afecta al problema. Límites legales:**

La legislación por la que se rige el vertido de estas corrientes residuales es la Ley de Aguas y el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril. Se fijan tres tablas de valores límite, gravadas con diferentes coeficientes para deducir la carga contaminante computable a efectos del canon de vertido (Tabla 4.1. -4).

Según el Artículo 251 del Reglamento de la Ley de Aguas, los efluentes no podrán superar los siguientes valores de contenido en metales en disolución y las diferentes sales metálicas, además de otros parámetros que también aparecen en las corrientes residuales.

**Tabla 4.1. -4**  
**Valores límite de vertido según la Ley de Aguas**

PARÁMETROS (ppm)	CANON 1	CANON 2	CANON 3
pH	5,5-9,5	5,5-9,5	5,5-9,5
DQO	500	200	160
DBO <sub>5</sub>	300	60	40
CROMO III	4	3	2
CROMO VI	0,5	0,2	0,2
HIERRO	10	3	2
MANGANESO	10	3	2
NÍQUEL	10	3	2
PLOMO	0,5	0,2	0,2
ESTAÑO	10	10	10
COBRE	10	0,5	0,2
CINC	20	10	3
CIANUROS	1	0,5	0,5
CLORUROS	2.000	2.000	2.000
SULFATOS	2.000	2.000	2.000
FLUORUROS	12	8	6
FÓSFORO TOTAL	20	20	10
SULFUROS	2	1	1
NITRATOS	20	12	10
BORO	10	5	2
DETERGENTES	6	3	2
ACEITES Y GRASAS	40	25	20
TEMPERATURA	3°C	3°C	3°C
COLOR	Inapreciable en disolución		
1/40	1/30	1/20	

Hay casos especiales en los que se prohíben los vertidos que afecten a acuíferos con sustancias de la Lista I del anexo I de la Directiva 76/464 y otros compuestos que podrán verse limitados según Planes Hidrológicos concretos. En la Directiva 83/513 CEE se limita el vertido de cadmio, especialmente de las industrias de Tratamiento de Superficies por electrodeposición de metales, a 0,2 mg de cadmio por litro de vertido. La legislación española, en la Orden 112/87 de 12 de noviembre de 1987, incorpora esta Directiva, estableciendo como valor límite de las medidas mensuales 0,2-0,5 mg/l ó 0,3 g/kg de cadmio tratado.

En el ámbito local se han establecido algunos Reglamentos de vertidos, a fin de preservar los bienes y estructuras de planes de saneamiento concretos en marcha (depuradoras urbanas, cauces de destino, final, etc.).



### ¿Se conocen los futuros límites legales?

La Directiva Marco relativa al control de vertidos de sustancias peligrosas en el medio acuático de la Comunidad Europea (76/464) establece dos listas: Lista I, o negra, de sustancias muy tóxicas, cuyo vertido debe eliminarse o reducirse al mínimo con la mejor tecnología posible. Entre estas sustancias se encuentran:

- Compuestos organoclorados: disolventes empleados en el desengrase.
- Sustancias en las que esté demostrado su poder cancerígeno en el medio acuático, o transmitido por medio de éste: algunos metales pesados.
- Cadmio y compuestos de cadmio.

En el futuro se establecerán las Directivas y fechas para la total eliminación o la reducción al mínimo de estas sustancias empleadas en el Tratamiento de Superficies.

En la Lista II aparecen sustancias menos tóxicas, cuyo vertido habría que reducir, ya que tienen efectos perjudiciales sobre el medio acuático, pero que podrían limitarse a determinadas zonas según las características de las aguas receptoras y su localización. Entre ellas se encuentran sustancias tales como:

- Los metaloides y metales siguientes y sus compuestos, utilizados en el Tratamiento de Superficies: cinc, cobre, níquel, cromo, plomo, antimonio, estaño, plata, etc.
- Compuestos inorgánicos de fósforo que se emplean en algunos baños de electrodeposición.
- Cianuros y fluoruros.

Es de esperar en el futuro, también, el desarrollo de nuevas directivas relacionadas con otras sustancias.

### Actual tratamiento o disposición que se da a la emisión:

- Corrientes concentradas. Se generan intermitentemente (1,5-2 años):
  - Regeneración de los ácidos del decapado por evaporación, cristalización del sulfato ferroso, etc.
  - Tratamiento in situ de neutralización de ácidos y bases, precipitación de metales disueltos, oxidación de cianuros y eliminación de aceites y grasas (plantas que puedan funcionar por cargas o discontinuo).
  - Envío a planta de tratamiento físico-químico externa.
- Corrientes diluidas, generadas en continuo:
  - La práctica más común es el vertido a la alcantarilla, previa neutralización, en algunos casos, debido a que los compuestos químicos están diluidos. Si la concentración de contaminantes está por encima de lo permitido se deben tratar en planta físico-química in situ, tras el agotamiento de todas las posibilidades de reducción en origen y reciclaje. Algunas aguas de lavado que contienen metales de alto valor (oro, plata, etc.), se tratan para recuperar el metal y con él preparar disolución de recubrimiento.

- Las aguas de lavado de fugas, derrames y limpiezas, aunque no se generan en continuo, se suelen unir al resto de corrientes residuales diluidas para su tratamiento. A veces, se emplea mucho volumen de agua, por lo que están muy diluidas y se vierten a la alcantarilla.

#### **¿Existe una solución factible al problema?**

- Las soluciones posibles también están clasificadas en función de la concentración de las aguas residuales:
- Concentradas: Alargamiento de la vida de los baños por filtración periódica, llegada de las piezas en las mejores condiciones higiénicas posibles, mediante las buenas prácticas de almacenamiento y operación para que no se contaminen más. Si existen corrientes ácidas y básicas, se pueden utilizar unas para neutralizar otras, aprovechando su composición. En último término, el tratamiento adecuado de las corrientes residuales, según su composición, antes del vertido, ya sea en la propia empresa o por un gestor autorizado.
- Diluidas: Su impacto ambiental es menor, porque están más diluidas que los baños, pero se requiere una eliminación de aceites y grasas, neutralización, y, si el contenido en metales es elevado, éstos deben recuperarse o eliminarse por precipitación. La solución más adecuada es la reducción de los arrastres y la minimización del consumo de agua (tipos de baños, reutilización en otros procesos, etc.).

### **3.3. RESIDUOS SÓLIDOS**

#### **Descripción del problema medioambiental:**

Los residuos sólidos resultantes del tratamiento de las corrientes residuales anteriores y de las operaciones de mantenimiento y limpieza están clasificados como residuos peligrosos, por su contenido en metales, principalmente.

#### **Etapa o actividad involucrada:**

Proceden de las operaciones auxiliares de limpieza de tanques cuando se procede al vaciado total, filtración periódica de baños de proceso, etc., y de la planta de tratamiento de aguas residuales, si existe.

#### **Emisión o residuo causante del problema:**

Los fangos están formados fundamentalmente por hidróxidos metálicos precipitados que se generan en el tratamiento de los baños (concentrados, principalmente) y aguas de enjuague, para evitar la presencia de estos metales en los vertidos de efluentes líquidos. También se generan residuos sólidos o lodos cuando se filtran los baños de proceso para eliminar impurezas sólidas que se han formado por reacciones en el baño o que acompañaban a la pieza, inicialmente. Su alto contenido en metales los hace bastante tóxicos. Si se depositan en un vertedero, hay que tener en cuenta los posibles lixiviados conteniendo metales pesados que pueden contaminar las aguas subterráneas y el suelo. Por ello, deben depositarse en lugar adecuado (depósito de seguridad) o inertizarse.

**Legislación o reglamento que afecta al problema. Límites legales:**

En el Real Decreto 952/1997 que modifica el R. D. 833/1988, de 20 de julio, los lodos con metales figuran en la lista europea de residuos peligrosos, con todas las implicaciones que esto conlleva a la hora de gestionarlos.

**Actual tratamiento o disposición que se da a la emisión:**

Para reducir al máximo el volumen de los fangos y su humedad se suelen pasar por un filtro de bandas o de presión, hasta un 30-50 % en contenido en sólidos, suficiente para llevar a un depósito de seguridad o inertizar. En algunos casos, muy pocos, se envían a instalaciones de recuperación de metales.

**¿Existe una solución factible al problema?**

La solución al problema pasa por las buenas prácticas de operación y mantenimiento, con las que se consiguen volúmenes menores de fangos.

La recuperación de determinados metales de los lodos, por procesos pirometalúrgicos por gestores externos se está llevando a cabo con éxito. Este es el caso de los lodos con cobre.

**FICHA G-12  
PONDERACIÓN CUALITATIVA DE EMISIONES/RESIDUOS**

Existen muchos aspectos que se derivan de una determinada emisión, vertido o residuo que, aun siendo difícilmente cuantificables, pueden tener una gran influencia en el desarrollo de una empresa y tener como consecuencia, a medio/largo plazo, pérdidas o beneficios económicos. En esta ficha se trata de ponderar la importancia para la empresa de las diferentes corrientes residuales, desde el punto de vista de los aspectos intangibles, es decir, qué corrientes residuales son prioritarias para la empresa desde el prisma de los aspectos considerados (a los que aquí se indican se pueden añadir otros).

La puntuación se puede realizar dando valores a P y G:

**P:** Importancia que tiene para la empresa cada uno de los aspectos. 1 sin importancia, 10 mucha importancia

**G:** Grado en el que un residuo/vertido/emisión afecta a un aspecto. 1 poca influencia (p. ej. dentro de la legislación), 5 mucha influencia (p. ej. afecta muy negativamente a la imagen de la empresa)

Al igual que las FICHAS G-10, esta ficha no es posible completarla para un sector en general.

ASPECTOS INTANGIBLES	PESO ESPECÍFICO	NOMBRE: R1		NOMBRE: R2		NOMBRE: R3		NOMBRE: Ri	
		P	G	P x G	G	P X G	G	P x G	G
	De 1 a 10	De 1 a 5							
Cumplimiento de la legislación									
Riesgo Medioambiental									
Riesgos de seguridad									
Imagen de la empresa									
Oportunidades de prevención									
Posible recuperación de materiales									
Etc.									
TOTAL									

#### **4.2. S: SELECCIÓN DE OPCIONES**

Con la información recopilada en el Inventario Global ya se está en condiciones de analizar en qué partes del proceso existen ineficiencias y aportar medidas con las que se puedan minimizar los residuos, vertidos y emisiones actuales y optimizar el uso de los recursos.

Para el sector en su conjunto se han encontrado las opciones de minimización que se incluyen en la figura 1, ordenadas según la técnica de minimización de que se trate. Esta lista no es exhaustiva, por lo que puede verse ampliada o reducida para una empresa particular, éstas son propuestas globales de actuación ante una problemática contaminante expuesta a lo largo de todo el estudio.

#### **4.3. E: INVENTARIO ESPECÍFICO**

En las Fichas E-1 y E-2, una empresa en particular plasmará toda la información relevante necesaria para definir con detenimiento la opción y conocer las posibilidades de éxito que tendrá. Se incluirán datos concretos de la opción, su descripción, qué residuos, vertidos o emisiones se verán afectados (hay que tener en cuenta los nuevos residuos, vertidos y emisiones que se pueden general), la técnica de minimización empleada (normalmente, una misma opción es la combinación de varias técnicas) y un informe general de la opción en el que se incluyan ventajas e inconvenientes a priori de la implantación de esa opción.

En esta guía, las dos fichas se han reducido a un informe global de la opción, enumerando el mayor número de posibilidades de minimización en cada una, para que esto sirva de orientación a las empresas que, en cada caso particular, podrán estudiar más detenidamente o descartar directamente, en función de su problemática concreta. El informe general de las opciones de minimización más interesantes a priori será la base para pasar a realizar el análisis de viabilidad.

#### **4.4. V: ANÁLISIS DE VIABILIDAD**

El análisis de viabilidad se realizará desde tres puntos de vista: técnico, medioambiental y de rentabilidad (inversiones, ahorros, cash flow anual extra, período de retorno, valor actual neto, etc.). Completar estas fichas lo más exactamente posible es determinante, ya que los resultados económicos juegan un papel muy importante en la toma de decisiones sobre la implantación de una u otra opción de las estudiadas. Las fichas que se engloban en este apartado se muestran a continuación. En el informe general de la opción que se incluye en esta guía se dan esbozos de la viabilidad técnica, medioambiental y económica de cada una de ellas.

### FICHA V-1 EVALUACIÓN TÉCNICA

En la Ficha V-1 de Evaluación Técnica se elaborará una relación de los trabajos, equipos y otros aspectos técnicos que la medida lleva consigo. Para ciertas medidas, es posible que exista cierto riesgo técnico (cuando se trata de cambios en las materias, los procesos o las tecnologías), en estos casos hay que buscar la suficiente información técnica para poder tomar decisiones. Los proveedores de equipos y de productos químicos nos pueden suministrar datos muy valiosos para la evaluación técnica.

### FICHA V-2 EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

En esta ficha se evalúan los beneficios y efectos negativos desde el punto de vista medioambiental de cada una de las medidas. También se valorarán los aspectos intangibles. En general, los beneficios medioambientales consisten en el ahorro de materias (agua, productos químicos, energía), reducción de la toxicidad de las materias empleadas, reducción del volumen y/o toxicidad de los vertidos, emisiones a la atmósfera o de residuos generados, posibilidades de reciclaje o valorización de residuos, etc. En cuanto a los efectos negativos que hay que tener en cuenta son: generación de nuevos residuos, vertidos o emisiones, trasvase de la contaminación de un medio a otro, mayor consumo de energía, etc.

### FICHA V-3 RELACIÓN DE INVERSIONES

Las Fichas V-3 a V-8 constituyen el verdadero análisis de rentabilidad. A veces, para las empresas es difícil cuantificar pormenorizadamente las inversiones necesarias para cada opción. Al igual que para la evaluación técnica, son empresas externas (suministradores) las que facilitarán estos datos. Para opciones con rentabilidad dudosa a priori, se pueden cumplimentar las fichas con datos aproximados. Si el periodo de retorno resulta ser elevado, se descarta la opción.

Hay que tener en cuenta que es posible, en muchos casos, obtener ayudas para mejorar la gestión medioambiental. Éstas reducirán la inversión inicial, si finalmente se consiguen, lo que contribuirá a una mayor rentabilidad.

COSTE POR ELEMENTO	SUBTOTALES
1. Compra de equipos	
2. Materiales y preparación del lugar	
3. Conexión con servicios públicos	
4. Instalaciones adicionales	
5. Construcción e instalación	
6. Ingeniería y consultoría	
7. Puesta en marcha	
8. Licencias	
9. Imprevistos	+
COSTES PROYECTO/INVERSIÓN FIJA (1 a 9)	
10. Capital de explotación	+
INVERSIÓN TOTAL REQUERIDA (1 a 10)	<hr style="border-top: 3px double black;"/>

### FICHA V-4 AHORRO BRUTO ANUAL GENERADO POR LA OPCIÓN

Se contabilizan en esta ficha los ahorros brutos anuales que pueda generar la medida de minimización de que se trate.

TIPO DE COSTE	SUBTOTALES
1. Disminución de costes por tratamiento/eliminación	
2. Disminución de costes de materiales de entrada	
3. Disminución de costes de servicios públicos	
4. Disminución de costes de operación y mantenimiento	
5. Disminución en seguros y costes de cobertura de riesgos	
6. Disminución de otros costes de operación	
7. Ingresos extras por incrementos de la producción, calidad del producto, etc.	
8. Beneficios fiscales específicos	+
<b>AHORRO BRUTO TOTAL ANUAL EN GASTOS DE OPERACIÓN</b>	<u><u>                    </u></u>

### FICHA V-5 CÁLCULO DEL CASH-FLOW ANUAL EXTRA (CF)

Basándose en los cálculos realizados en las fichas anteriores, fijando un periodo de amortización de los nuevos equipos e instalaciones y teniendo en cuenta el impuesto de sociedades, se calcula el cash-flow anual extra.

Ahorro bruto anual		_____
Amortización anual (Inversión/periodo de amortización)	-	_____
		_____
Beneficio antes de impuestos		_____
Impuesto de sociedades	-	_____
		_____
Beneficio neto		_____
Amortización anual		_____
<b>Cash-Flow anual extra (CF)</b>	<b>+</b>	<u>_____</u>

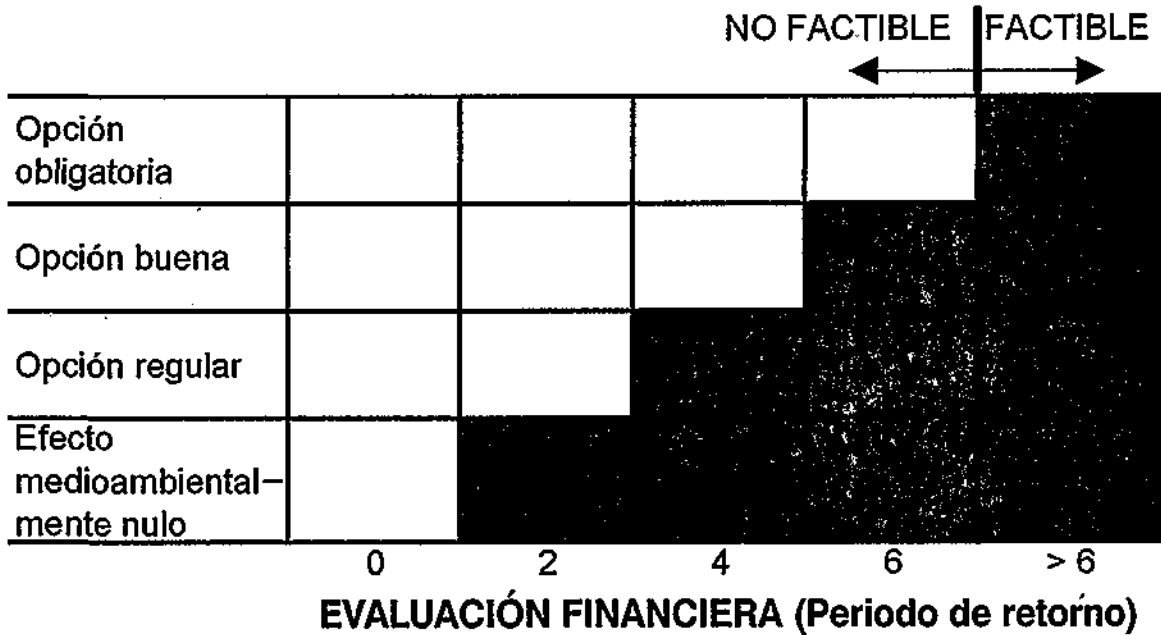
### FICHA V-6 CÁLCULO DEL PERIODO DE RETORNO (PR)

El cálculo del periodo de retorno da una buena idea de la bondad de la opción desde el punto de vista de la rentabilidad y del riesgo de la inversión. A mayor periodo de retorno, mayor riesgo.

**Periodo de retorno = Inversiones / Cash-flow anual extra**

A modo de ejemplo, el Manual MEDIA orienta sobre cómo juzgar la opción a partir del periodo de retorno:

**EVALUACION  
MEDIOAMBIENTAL**



	Aprobar opción
	Analizar TIR y VAN
	Rechazar opción



**FICHA V-7**  
**CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN)**

A partir del cash-flow, la inversión y la tasa de descuento, se calcula el valor actual neto, que debe ser positivo para que la inversión sea rentable. Cuanto mayor sea, mayor será la rentabilidad de la inversión, puesto que representa cuánto dinero se va a ganar, en dinero de hoy, con la inversión.

**FICHA V-8**  
**CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

La tasa interna de retorno representa el interés que hace nulo el VAN. Representa el tipo de interés compuesto que se percibe durante la vida de la inversión por la inmovilización del capital invertido. Por tanto, cuanto mayor sea el TIR, más atractiva será la inversión.

Las experiencias en la implantación de medidas de minimización de empresas españolas pueden servir para demostrar que se obtienen buenos resultados, medioambientalmente y económicamente.

## S: SELECCIÓN DE OPCIONES

FICHA S-1  
RELACIÓN DE OPCIONES DE MINIMIZACIÓN

Nº	OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN	TIPO DE OPCIÓN
1	Buenas prácticas de minimización	Buenas prácticas
2	Regeneración de los baños de desengrase y decapado	Reciclaje en el emplazamiento: empleo como materia auxiliar
3	Reducción y reciclaje de disolventes	Reciclaje externo o sustitución por otros desengrasantes
4	Reducción de las emisiones a la atmósfera	Reducción en la fuente y buenas prácticas
5	Reducción de los arrastres	Reducción en la fuente
6	Empleo de agua desionizada	Purificación de materias auxiliares
7	Reducción del consumo de agua	Reducción en la fuente
8	Reciclaje de las aguas de aclarado	Reciclaje en el emplazamiento
9	Recuperación y reciclaje de metales	Recuperación y reciclaje interno o externo
10	Sustitución del ácido crómico	Reducción en la fuente
11	Sustitución de las disoluciones de cadmio	Reducción en la fuente: sustitución
12	Disoluciones de recubrimiento no cianuradas	Reducción en la fuente

<b>OPCIÓN:</b>	Buenas prácticas de minimización
<b>NÚMERO:</b>	1

### FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapa o actividad implicada:** Todas, incluidas las operaciones auxiliares de almacenamiento, limpieza de equipos e instalaciones.

**Breve descripción de la opción:** Concienciación del personal para prevenir fugas, accidentes, derrames, segregación de corrientes residuales, aumento de la vida útil de los baños, etc.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Menor volumen de corrientes residuales, menos concentradas en productos tóxicos, en algunos casos, y reducción del número de corrientes que deberán ser tratadas específicamente.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Ahorro de materias secundarias y auxiliares.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** No perjudican en ningún caso a la calidad del producto final.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: buenas prácticas de operación y mantenimiento.

### FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Para empezar a reducir las emisiones y residuos de una planta de Tratamiento de Superficies se pueden aplicar las siguientes buenas prácticas de operación. Se caracterizan por su mínimo coste de implantación, y fácil realización y con ellas se consiguen rápidamente resultados significativos de minimización de la carga contaminante de las corrientes residuales.

#### 1.1. BAÑOS DE PROCESO Y ACLARADOS

- Retirar los ánodos cuando no se estén utilizando, aumentando así la vida útil de los baños.
- Realizar una buena limpieza de las piezas antes de introducirlas en el baño de recubrimiento, con lo que se minimiza la contaminación de los baños.
- Proteger las áreas de la pieza que no se van a recubrir para evitar desoxidaciones innecesarias y limitar la corrosión de estas áreas.
- Analizar los baños para mantenerlos en su valor óptimo de composición y temperatura.
- Permitir el tiempo de escurrido necesario de las piezas para minimizar los arrastres.

- Eliminar la operación de lavado entre procesos compatibles (p.ej. desengrase electrolítico y químico, etc.).
- Aprovechar los baños agotados de los procesos de limpieza (desengrase y decapado químicos) para el tratamiento de las corrientes residuales.
- Instalación de elementos antisifón en todas las entradas de agua.
- Poner tapas y filtros de aire para evitar la contaminación por partículas de aire.
- Sustitución de los baños con componentes tóxicos por otros que lo sean menos.

## **1.2. PREVENCIÓN DE FUGAS Y DERRAMES**

- Programa de prevención de fugas y de mantenimiento de las instalaciones, especialmente bombas y válvulas.
- Inspección periódica de los equipos.
- Instalar controles de nivel unidos a una bomba para evitar reboses de tanques.
- Formación práctica de los operarios para que manejen correctamente los equipos y sepan cómo actuar ante una fuga o derrame.

## **1.3. SEGREGACIÓN DE LAS CORRIENTES DE RESIDUOS**

- Segregación de corrientes de residuos para maximizar las oportunidades de reciclaje y recuperación de materias secundarias y auxiliares.
- Aislar las corrientes de residuos que contienen cianuros de las que contienen hierro o agentes complejantes de los cianuros, para no dificultar el tratamiento posterior.
- Segregar las corrientes de aguas residuales que contienen diferentes metales para su recuperación y reciclaje.
- No mezclar disolventes orgánicos con agentes oxidantes, álcalis, aluminio, etc.

## **1.4. AUMENTAR LA VIDA ÚTIL DE LAS DISOLUCIONES, LIMITANDO LA ACUMULACIÓN DE IMPUREZAS.**

- Mejorar la eficiencia del filtrado de las disoluciones de recubrimiento mediante un filtrado periódico.
- Utilizar ánodos de metales puros, ya que se puede acumular en el ánodo un exceso de impurezas que disminuya la calidad del recubrimiento.
- Reducir la concentración de carbonatos que se forman por rotura de los cianuros a altas temperaturas, extrayéndolos de la disolución.
- Diseño y mantenimiento adecuado del soporte que sumerge las piezas en los baños.
- Aclarado eficiente de las piezas entre baños. En algunos casos, utilizando agua desmineralizada o desionizada.

- Control de los parámetros de los baños tales como: temperatura, pH, concentración de productos químicos, etc.

#### 1.5. RESIDUOS DE LA DEPURACIÓN DE AGUAS

- Diseño del proceso de producción con vistas a generar una escasa cantidad de residuos.
- Deshidratación de fangos eficaz.
- Uso de reactivos de tratamiento que produzcan pocos fangos (hidróxido sódico en lugar de cal, etc.), siempre que sea posible.

#### 1.6. BUENAS PRÁCTICAS DE ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS

- Almacenamiento de piezas en pabellones cubiertos para evitar oxidaciones o ensuciamientos innecesarios.
- Almacenar adecuadamente los productos químicos, procurando aislar:
  - Ácidos y álcalis
  - Cianuros y sulfuros de ácidos
  - Oxidantes, como ácido nítrico, agua oxigenada, ácido crómico, etc. de líquidos inflamables, sustancias orgánicas y reductores.
  - Metales de óxidos, álcalis, agua oxigenada, etc.
  - Disolventes orgánicos de oxidantes, álcalis, aluminio, etc.

Prácticamente todas las corrientes residuales pueden reducir su volumen con la aplicación de medidas de este tipo. Principalmente, se evita la generación de residuos innecesarios (limpieza de fugas y derrames, etc.) y se optimiza el proceso, con lo que aumenta la calidad. Las inversiones y costes necesarios para estas medidas son escasos o nulos, por lo que se rentabilizan rápidamente.

<b>OPCIÓN:</b>	Regeneración de los baños de desengrase y decapado
<b>NÚMERO:</b>	2

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapa o actividad implicada:** 1.1. Desengrase y 1.2. Decapado.

**Breve descripción de la opción:** Reciclaje de los baños de desengrase alcalino. Eliminación del catión ferroso, causante del agotamiento de los baños de decapado ácido y reciclaje de los baños de decapado. Buenas prácticas de operación y mantenimiento, para alargar la vida de los baños.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Se alarga la vida de los baños y se regeneran previo tratamiento, por lo que el volumen de residuos es mucho menor.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Se consigue una importante reducción de los costes de compra de compuestos alcalinos y ácidos (materias auxiliares), agua y, en algunos casos, de aditivos (floculantes).

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad del decapado de la pieza es mayor. Se obtiene, como subproducto revalorizable, sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y ácidos sulfúrico o clorhídrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  o  $\text{HCl}$ ).

**Tipo de opción:** Buenas prácticas, reciclaje en el emplazamiento: reciclaje para su empleo como materia auxiliar. Reciclaje externo

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

En cualquier tipo de baños, la forma más sencilla, y generalmente más económica, de reducir la generación de baños agotados (residuos peligrosos), es alargar la vida útil de los mismos. Para ello, hay que controlar periódicamente los principales componentes y, cuando se desvíen de los parámetros de trabajo óptimos, añadir los componentes que falten, lo cual contribuye a una mayor calidad del proceso. Las medidas para alargar la vida de los baños de desengrase y decapado, así como otras medidas de minimización, se explican a continuación.

### 2.1. BAÑOS DE DESENGRASE ALCALINO

La vida de los baños de desengrase acuosos contaminados con aceites y grasas puede alargarse separando los aceites y grasas. Los **separadores de aceites** eliminan el aceite libre y los sólidos del agua por gravedad. Esto se realiza en planchas corrugadas, se crean pequeñas distancias verticales, propiciando la coalescencia entre las gotas. El aceite se recoge de la superficie de la placa y el baño clarificado se recicla al baño de desengrase, añadiendo los compuestos químicos necesarios para obtener la concentración del baño adecuada. Esta operación sue-

le ser lenta si las gotas son finas o se han formado emulsiones, por lo que se puede acelerar la separación empleando **centrífugas**, que, además, facilitan la separación de otras partículas sólidas que contaminan el baño.

Para la rotura de emulsiones muy estables se pueden emplear sistemas de **ultrafiltración** o de **microfiltración**, este último más económico, al emplearse membranas cerámicas, de mantenimiento más sencillo y prácticamente en continuo.

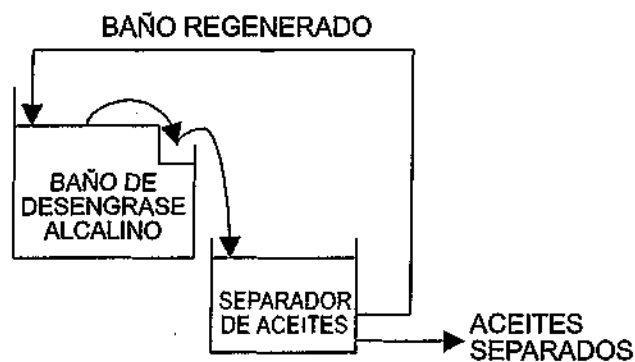


Figura 2.1.-1 Regeneración baños de desengrase

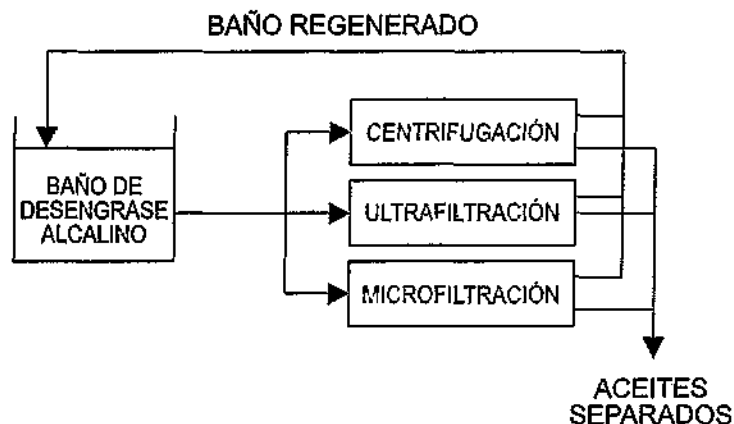


Figura 2.1.-2 Regeneración baños de desengrase alcalinos

En todo caso, para determinar la mejor técnica para alargar la vida de los baños de desengrase es conveniente ampliar la información acerca de estos sistemas consultando con los suministradores de equipos y los de productos desengrasantes.

Cuando los procesos de regeneración no sean rentables, las corrientes residuales básicas se pueden reutilizar en el tratamiento de otras corrientes residuales, por ejemplo, en el proceso de reducción del cromo.

## 2.2. BAÑOS AGOTADOS DE DECAPADO ÁCIDO

Los baños de decapado ácidos se van agotando cuando el contenido en cationes metálicos es alto, principalmente hierro. Para alargar la vida útil de estos baños, es conveniente que reducir al mínimo los contaminantes que puedan llegar con las piezas, emplear ácidos para la preparación del baño con las mínimas impurezas posibles, mantener limpio el ambiente de trabajo, emplear técnicas de reducción de arrastres, etc. Otras formas de alargar la vida de los baños son las siguientes:

### 2.2.1. Decapado con ácido sulfúrico

Estos baños se agotan cuando el contenido en hierro disuelto es del 8 % y de ácido sulfúrico del 8 %. Para eliminar el hierro se recurre a la **cristalización** por enfriamiento de la disolución, con lo que cristaliza la sal de hierro: sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). El líquido ácido puede ser reutilizado como baño de decapado tras la adición de ácido fresco para lograr las condiciones de operación adecuadas. El sólido se puede acondicionar y vender como subproducto: se utiliza en la fabricación de tintes, pinturas, fertilizantes y floculantes.

Se puede eliminar del 40 al 70 % del sulfato de ferroso y una reducción del consumo de ácido del 50 %.

Las inversiones son altas, por lo que es rentable para grandes empresas con un volumen de agua residual mayor de 500 l/h.

Otras técnicas de reciclaje aplicables a la regeneración del ácido sulfúrico son la **electrodialisis**, depositándose el hierro en el cátodo. También es posible la **regeneración térmica**, pero por su elevado coste energético no es rentable.

En general, la regeneración no es muy rentable porque el ácido sulfúrico es un subproducto de otro tipo de procesos, como el de fabricación de abonos, por lo que las empresas que producen este ácido pueden bajar los precios de venta hasta hacerlos mucho menores que los de regeneración, ya que tienen que deshacerse de él porque es un residuo del proceso principal. Además, la eliminación por neutralización es muy simple, y no requiere apenas inversión.

### 2.2.2. Decapado con ácido clorhídrico

Se agota el baño cuando el contenido en ácido libre es del 1-3 % y el 20 % de hierro. Se pueden regenerar mediante **pulverización** del mismo en un horno a alta temperatura ( $100^\circ\text{C}$ ), con lo que el ácido clorhídrico se separa como gas y el óxido de hierro se recoge en estado sólido. Se consigue una disolución de clorhídrico al 15-21 %, con menos de 10 g/l de hierro. Por ser un proceso en horno con aporte de calor es caro y sólo se emplea para grandes caudales.



Otra posibilidad es la fijación de cloruro férrico ( $FeCl_3$ ) sobre una **resina aniónica** (regenerable con clorhídrico puro). El cloruro férrico es un buen floculante que se puede vender como subproducto. Aunque, para poder separarlo, es importante que no estén presentes otros metales como el cinc, cobre, plomo, etc. o grasas. La concentración de estos metales debe ser menos de 2 g/l. Incluso se pueden usar los baños agotados directamente como floculante.

Como en el caso del ácido sulfúrico, el clorhídrico es un subproducto de la fabricación de cloro, por lo que el coste de regeneración es, muchas veces, mayor que el de compra de ácido nuevo.

Los baños agotados de otros ácidos, como el nítrico, fluorhídrico o fosfórico, son difíciles de regenerar, por lo que normalmente se someten a un tratamiento de destrucción: neutralización, precipitación y deshidratación de fangos.

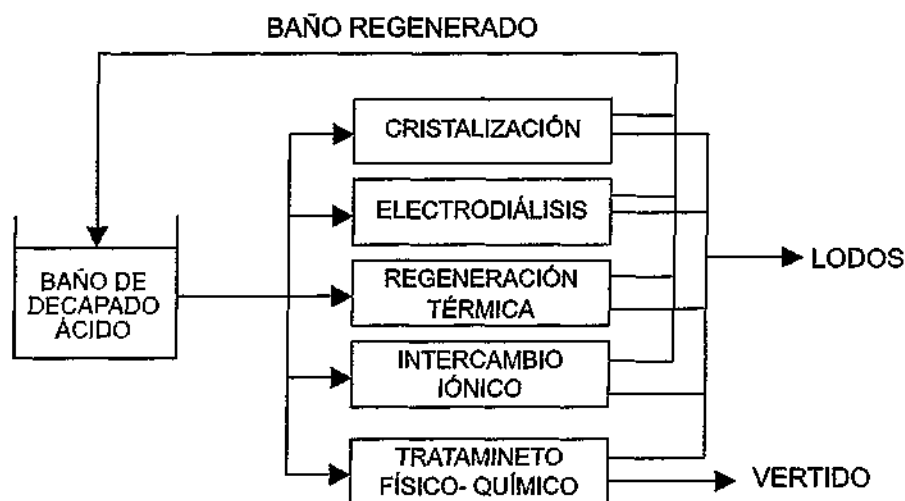


Figura 2.2.- Regeneración baños de decapado ácido

La última tendencia en el tratamiento de decapado es la sustitución del ácido sulfúrico por el clorhídrico, ya que la calidad del decapado es algo mejor, y porque no existen problemas de cristalización de sales ferrosas a baja temperatura. También se están sustituyendo los decapados químicos por los mecánicos, ya que los residuos que se generan en estos procesos no necesitan un tratamiento posterior, sino que se depositan en un vertedero de residuos inertes.

<b>OPCIÓN:</b>	Reducción y reciclaje de disolventes
<b>NÚMERO:</b>	3

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapa o actividad implicada:** 1.1. Desengrase.

**Breve descripción de la opción:** Diseño adecuado del tanque para evitar la volatilización del disolvente, sustitución de los disolventes por otros menos tóxicos u otros compuestos, las buenas prácticas de operación, regeneración por un gestor externo.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Las corrientes residuales del desengrase y de las emisiones reducen su toxicidad. Se reducen las emisiones a la atmósfera. Si se sustituyen por otros agentes de limpieza, se facilita la gestión y tratamiento de las corrientes residuales.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Se ahorran materias secundarias (disolventes).

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad de los productos no varía.

**Tipo de opción:** **Reducción en la fuente:** Sustitución de materias, reciclaje interno para su uso en la misma planta, reciclaje externo: recogida por un gestor externo que los regenera, valorización: gestor externo, empleo como combustible.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

**Informe general de la opción: datos descriptivos**

Por su gran toxicidad y persistencia en el medio ambiente, es obligado reducir al máximo su uso. En primer lugar, las medidas más sencillas de aplicar son las buenas prácticas de operación y mantenimiento y las medidas de reducción en origen, entre otras:

- Uso de un disolvente genérico que puede utilizarse en el mayor número posible de procesos.
- Alargar la vida útil de las disoluciones, evitando su contaminación para asegurar las condiciones adecuadas del disolvente y mantener su efectividad. Utilizar sistemas en contracorriente o utilizarlos en otras operaciones menos delicadas.
- Mejora de los sistemas de refrigeración.
- Instalación de corrientes de aire en ciclo cerrado con refrigeración.
- Planificación adecuada de las operaciones de limpieza.

- Sustitución de los disolventes por agentes de limpieza de base acuosa u otros disolventes menos tóxicos.
- Buenas prácticas de operación y mantenimiento, como evitar fugas y derrames, adecuado mantenimiento, etc.
- Utilización de técnicas de rociado o aerosol y de forma automatizada para controlar mejor el proceso. Después, las piezas se aclaran con agua, y el disolvente pasa al fondo del tanque desde donde se recicla al recipiente contenedor. Para reducir las emisiones al aire, la operación de rociado se realiza en una cámara cerrada. La limpieza también se puede realizar con el disolvente en fase vapor.

Por otro lado, los disolventes plantean un importante problema debido a las emisiones a la atmósfera. Éstas se pueden reducir tapando los tanques de almacenamiento o proceso cuando no se emplean (24-50 % de reducción) y aumentando la altura existente entre la superficie del disolvente y el borde del tanque. Se recomienda una altura libre del 75 % con lo que se reducen las emisiones y a su vez, el consumo excesivo de disolvente se reduce en un 27-46 %.

El uso de los disolventes para el desengrase de piezas es cada vez más reducido. Sin embargo, en los procesos en los que aun se emplea, no es raro que se utilicen varios tipos de disolventes dentro de una empresa, lo que complica aún más la gestión posterior. Una vez agotados (con el 30 % de grasa aproximadamente), es muy importante la segregación de las corrientes, ya que si se quieren reciclar los disolventes es conveniente que estén separados, en especial disolventes clorados y no clorados y los alifáticos y aromáticos y las disoluciones acuosas. Se recogen en contenedores cerrados para evitar que se volatilicen o que se contaminen más con agua, sólidos, etc. y bien etiquetados.

Los disolventes pueden reciclarse en la misma planta donde se generan o fuera de ella. La técnica consiste en:

- Separación por gravedad de sólidos y agua.
- Filtración para retener sólidos.
- Destilación discontinua con un evaporador.
- Destilación fraccionada para mezclas de disolventes.

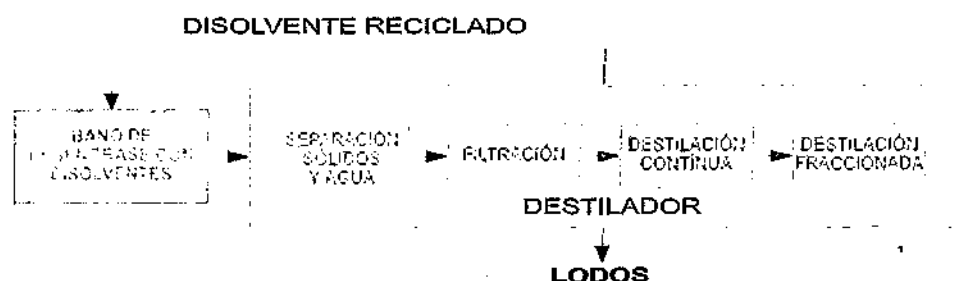


Figura 3.-1 Reciclaje de disolventes

Si no se pueden regenerar, los disolventes no clorados también se pueden emplear como combustibles, aprovechando su valor energético. Existen gestores externos que regeneran los disolventes usados, o se revalorizan en hornos de cementeras, como sustituto del combustible empleado por éstas.

OPCIÓN:	Reducción de las emisiones a la atmósfera
NÚMERO:	4

### FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapas o actividades implicadas:** Baños que trabajan en caliente: 1.1. Desengrase, 1.2. Decapado ácido y 2. Electrodeposición, principalmente.

**Breve descripción de la opción:** Para reducir las emisiones se pueden colocar sobre los baños sistemas de absorción de gotas, que luego se pueden recuperar y devolver al proceso, o verter como corrientes residuales líquidas, que se pueden tratar junto a otras corrientes.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Se reducen de forma importante las emisiones a la atmósfera en cantidad y toxicidad.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Si las neblinas o gotitas recogidas se devuelven al baño del que proceden, se ahorran materias secundarias y auxiliares de preparación de los baños.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad del producto no varía.

**Tipo de opción:** Buenas prácticas y reducción en la fuente: modificación de equipos auxiliares y actividades complementarias.

### FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Los baños en los que se trabaja en caliente y durante el cambio de los baños de proceso se emiten vapores y neblinas tóxicas que hay que reducir al máximo por el bien del personal, las instalaciones y la atmósfera en general.

Con buenas prácticas, como tapar las cubas y parar el sistema de calefacción de los baños que generan emisiones cuando no se están utilizando, y reducir, en la medida de lo posible, la temperatura de los baños; se reduce la generación de emisiones.

Se pueden recoger las emisiones a la atmósfera instalando sistemas de ventilación y evacuación de emisiones sobre el baño. Son sistemas de aspiración y filtrado de gases o de lavado de gotas, con lo que se transforma la emisión a la atmósfera en una corriente residual líquida que se puede devolver al baño de origen o evacuar al sistema de tratamiento de corrientes residuales. Algunos ejemplos particulares son los siguientes:

- En el caso del decapado en medio ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) se utilizan filtros de niebla de fibras sintéticas especiales. El sistema recoge las gotas para devolverlas al baño y el vapor de agua va a la atmósfera.

- Para los vapores de clorhídrico de decapado se usa la depuración húmeda, es decir, recoger los vapores sobre un gran volumen de agua que se puede utilizar para los lavados posteriores.
- La emisión de disolventes a la atmósfera se puede reducir utilizando tanques herméticos, con gran altura libre (se amplía en la opción anterior).
- Las emisiones de ácido cianhídrico o crómico y otros compuestos de los baños de electro-deposición se evitan o reducen con los mismos sistemas: ventilación adecuada o lavadores húmedos.

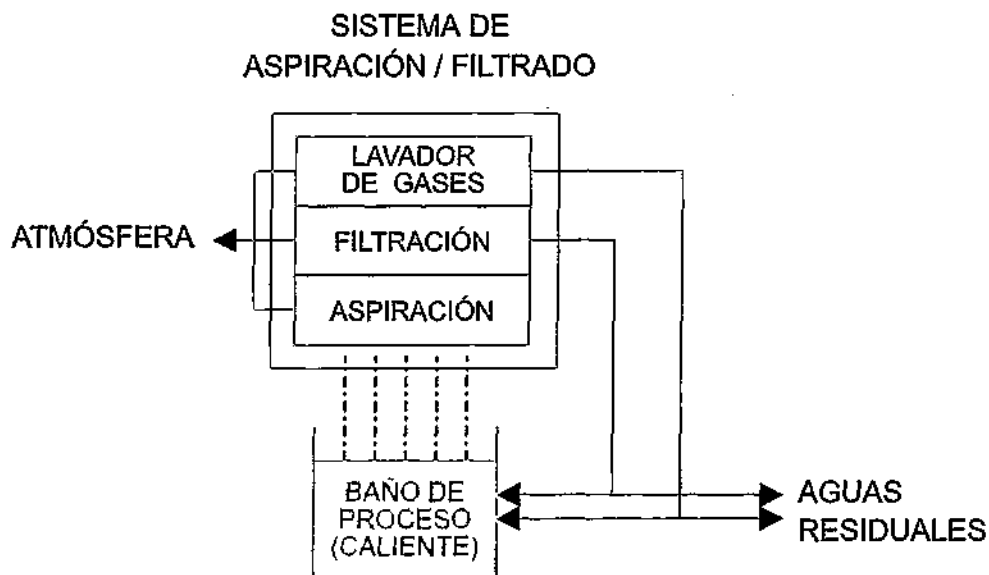


Figura 4.-1 Reducción de emisiones a la atmósfera

<b>OPCIÓN:</b>	Reducción de los arrastres
<b>NÚMERO:</b>	5

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapas o actividades implicadas:** 1.1. Desengrase, 1.2. Decapado, 2. Electrodeposición y los enjuagues intermedios.

**Breve descripción de la opción:** Para conseguir la disminución de los arrastres de los baños a los enjuagues se pueden aplicar varias técnicas: disminución de la rapidez de extracción de las piezas y ampliación del tiempo de escurrido, utilización de surfactantes, aumento de la temperatura de la disolución, reducción de la concentración de los baños, colocación de la pieza en los soportes, etc.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Principalmente, disminuye la concentración de las corrientes residuales de aclarado, y también el volumen, ya que se arrastran menos impurezas y productos químicos.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Esta opción tiene gran influencia sobre las materias secundarias, es decir, la disolución de electrodeposición, ya que se extraen del baño menos productos químicos por arrastre, y a su vez, se contaminan menos con los arrastres de baños anteriores. También afecta a las materias auxiliares, como el agua, los desengrasantes y decapantes, a los que se pueden aplicar las mismas técnicas.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** Los productos no se ven alterados, en todo caso, la calidad del recubrimiento será mayor si el baño de electrodeposición está más limpio.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: modificaciones en equipos auxiliares y actividades complementarias, y algunas modificaciones en el proceso.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Se llaman arrastres a los productos que quedan adheridos a las piezas cuando se extraen de un baño. Para eliminar en parte estos restos de disolución se enjuagan las piezas cuando salen de un baño, antes de introducirse en otro. Cuanto menor sea la cantidad de disolución que salga del baño, menor será la contaminación del baño siguiente y menor será la cantidad de productos químicos que deben añadirse a los baños para mantener la concentración adecuada, y menor volumen de agua se requerirá para el enjuague de las piezas. Por tanto, esta opción es de las más interesantes desde el punto de vista medioambiental y económico.

A modo de ejemplo, en los baños de recubrimiento con cromo se pierden por arrastres 0,9 kg de cromo por cada kg de cromo añadido al baño de electrodeposición. En otro tipo de recubrimientos, las pérdidas de metal varían entre el 50-90%.

La cantidad de disolución arrastrada depende de varios factores:

- Tipo de disolución: Si la tensión superficial de la disolución es alta, se retiene más en las grietas, fisuras o imperfecciones de las piezas. Cuanto mayor sea la viscosidad de la disolución, mayor es la cantidad de disolución que se arrastra.
- Geometría de la pieza: forma y superficie. Las piezas con mayor superficie arrastran mayor cantidad de disolución, si se mantienen constantes otros parámetros.
- Tiempos de escurrido y la rapidez de extracción de la pieza del baño afectan mucho a la cantidad de disolución perdida.

Por tanto, hay que actuar sobre estos factores para reducir los arrastres.

### 5.1. DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES DEL BAÑO

Al disminuir la concentración de productos químicos en la disolución menor es la viscosidad, es decir, más fina es la película de líquido que se extrae y más rápido se escurre.

Por tanto, hay que determinar la mínima concentración del baño para obtener la calidad adecuada del producto final.

**Ejemplo 1:** En el cromado la concentración de ácido crómico se puede reducir de 250 g/l, que es lo usual, a 180 g/l, obteniéndose la misma calidad y disminuyendo los arrastres en un 28 %. Si la concentración se baja hasta los 25-50 g/l de ácido crómico se obtienen recubrimientos aceptables y se reducen los arrastres en un 90 %. Al reducir la concentración también disminuyen las necesidades de aclarado.

**Ejemplo 2:** En el cobreado cianurado, si se reduce la concentración de cianuro potásico de 99 a 70 g/l, disminuye el arrastre en un 29 %. En el cobreado con sulfato de cobre, si se reduce de 240 a 200 g/l, el arrastre es menor de un 17 %.

Con estas medidas se consigue además un importante ahorro de materias secundarias y auxiliares: productos químicos de preparación de baños (recubrimiento, decapado y desengrase), agua y aditivos. Por tanto, disminuye el volumen y la concentración de las corrientes residuales, con lo que se reduce la cantidad de residuos que requieren un tratamiento especial, disminuyendo proporcionalmente los costes.

### 5.2. UTILIZACIÓN DE ADITIVOS

La tensión superficial de una disolución influye en el trabajo necesario para retirar la capa líquida de la superficie sólida y en el efecto de borde producido cuando la gota de líquido se adhiere a los bordes de la pieza.

Por tanto, disminuyendo la tensión superficial se facilita el escurrido del líquido. Esta disminución se puede conseguir empleando agentes surfactantes o humidificantes, preferentemente no iónicos para que no se dañen con la electrólisis, en el caso del baño de recubrimiento.

Esta posibilidad tiene el inconveniente de aumentar la variedad de productos químicos contaminantes, y algunos son bastante tóxicos, aunque se emplean en una concentración muy baja. Es, pues, necesario valorar qué es más ventajoso: su uso para reducir la tensión superficial y el tratamiento posterior, o no usarlos para no introducir más compuestos químicos en los baños.

### 5.3. AUMENTO DE LA TEMPERATURA DE LA DISOLUCIÓN

Al aumentar la temperatura disminuye tanto la viscosidad como la tensión superficial, por tanto, disminuyen los arrastres. Por ejemplo, con aumento de la temperatura de 25 a 50°C, la viscosidad se reduce en un 30 % y se consigue una reducción del arrastre del 17 %.

Pero, al aumentar la temperatura, aumenta la evaporación de la disolución, por lo que hay que controlar la posible contaminación atmosférica y la alteración o descomposición de algunos productos químicos, por ejemplo: cianuros.

El aumento de la temperatura lleva asociado un aumento de los costes energéticos. Por lo que hay que estudiar si las ventajas superan o no a los inconvenientes.

En general, para poder llevar a cabo las medidas relacionadas con la composición de los baños o sus propiedades físicas es muy importante el control y seguimiento de las características de los baños, reajustando los parámetros necesarios con una periodicidad baja. Así se reducen arrastres, además de mejorar la calidad del proceso.

### 5.4. MANEJO Y DISEÑO DE PERCHAS Y SOPORTES

Para introducir las piezas en los baños, éstas se apoyan o sujetan en perchas o soportes que también se introducen en el baño y que al extraerse arrastran disolución. La pieza debería colocarse con el lado o arista inferior inclinado respecto a la horizontal, para facilitar el goteo por la esquina de la pieza. La mejor posición se determina por medio de la experiencia. Algunos consejos prácticos son:

- Hacer oscilar las piezas con superficies lisas o de una sola curvatura, para facilitar el drenaje y goteo sobre el baño por el camino más corto.
- Bañar las piezas de tal manera que sean extendidas más en superficie que en profundidad. Así, el grosor de la película de líquido será menor.
- Evitar el baño de las piezas directamente sobre otras, para evitar un recorrido excesivamente largo del drenaje.
- Evitar las superficies tipo plancha inclinando la pieza, aunque sin formar bolsas de solución.
- Colocar las piezas para que el área de contacto superficie-líquido sea mínima al sacarla del baño.



En cuanto al diseño del soporte, éste debe tener la mínima área superficial y no debe tener cavidades. Es conveniente que tengan superficies verticales o inclinadas, mejor que horizontales, ya que favorecen el goteo de líquido. Las superficies deben ser lisas, sin poros ni rugosidades.

Para piezas pequeñas se usan bombos o cilindros con agujeros que deben estar distribuidos de tal manera que no dificulten el drenaje de disolución, por lo que deben tener el mayor tamaño posible. Es conveniente evitar el exceso de carga para un buen escurrido.

#### **5.5. VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN DE LA PIEZA DEL BAÑO Y TIEMPO DE ESCURRIDO**

Cuanto más rápido se retire un objeto del tanque, más gruesa será la capa de disolución arrastrada. La extracción debe ser suave y gradual, esto se consigue fácilmente mediante la automatización de la extracción. En el caso de los tambores, si se giran lentamente durante la extracción, se reduce el arrastre de forma importante. La sacudida o vibración de los bastidores (las piezas tienen que estar bien ancladas), una vez fuera del baño, también contribuye a un mejor escurrido.

Una vez extraídas las piezas, se deben dejar un tiempo sobre el baño para que goteen, e incluso rociar con un spray de agua para que la superficie no se seque (manchas, pasivación, etc.) y no se arrastre solución. Este tiempo óptimo es, aproximadamente, de 10 segundos para los bastidores y 30 segundos para los bombos, estando condicionado por el ritmo de la producción y la disponibilidad de carros o soportes. En general, cuanto mayor sea el tiempo de escurrido, el arrastre es menor. Por ejemplo, si se aumenta el tiempo de escurrido de 1 a 10 segundos, el arrastre se reduce en un 70 %. Aunque esta medida requiere gran espacio y modificación del ritmo de producción.

La automatización del proceso facilita bastante la implantación de las medidas para reducir arrastres, ya que se pueden programar los tiempos de inmersión, agitación, extracción, tiempos de escurrido, etc., ajustados al ritmo de la producción. También aumenta la calidad del proceso, puesto que se evitan errores o vicios humanos.

- Si a pesar de estas técnicas se produce el arrastre, hay formas sencillas de recuperarlo, antes de que entren en los tanques de aclarado.
- Planchas, tableros o conducciones de drenaje: capturan el goteo de solución mientras las piezas pasan de un tanque a otro. Se deben colocar de forma inclinada.
- Tanque de goteo: es un tanque ordinario que recoge el goteo antes del aclarado. Es muy útil cuando se produce un goteo continuo durante un período de tiempo.

- Aclarado de spray sobre el baño. Es muy útil en líneas automáticas. Con este sistema se devuelve un 75 % de los productos químicos de la solución arrastrada al tanque original. El volumen del aclarado de spray no puede exceder el volumen de evaporación de la superficie del tanque.
- Cuchillo de aire: es un sistema parecido al aclarado en spray, pero con una corriente de aire a gran velocidad. Es útil cuando la evaporación es muy baja.
- A continuación se muestran los valores indicativos de los arrastres medios en función del posicionamiento de la pieza y la calidad del escurrido.

**Tabla 5.-1**  
**Arrastres medios en función de la pieza y la calidad del escurrido**

PARTES PIEZA/CALIDAD ESCURRIDO	ARRASTRE (cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Partes verticales, bien escurridas	16
Partes verticales, peor escurridas	80
Partes verticales, muy mal escurridas	163
Partes horizontales, bien escurridas	32
Partes horizontales, peor escurridas	400
Partes horizontales, muy mal escurridas	300-1000

**Tabla 5.-2**  
**Arrastres de diferentes disoluciones**

TIPO DE DISOLUCIÓN	ARRASTRE (ml/dm <sup>2</sup> )	
	Superficie plana	Superficie no uniforme
Cobre cianurado	0,5	1,4
Níquel wats	0,4	1,1
Latón cianurado	0,4	1,1
Plata cianurada	0,5	1,4
Oro cianurado	0,5	1,4
Desengrase	0,4	1,1
Decapado	0,4	1,1

Otros factores que afectan a los arrastres son la agitación de los baños de aclarado. La filtración para eliminar sólidos indeseables que se van acumulando en el fondo también ayuda a la reducción de los arrastres.

**OPCIÓN:** Empleo de agua desionizada

**NÚMERO:** 6

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LAS OPCIONES DE MINIMIZACIÓN

**Etapas o actividades implicadas:** Aclarados.

**Breve descripción de la opción:** Es importante que el agua tenga la mínima dureza para reducir los problemas de mantenimiento de las instalaciones y aumentar la eficacia del aclarado.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Principalmente disminuye el volumen de fangos que se ha de eliminar durante el tratamiento de las aguas residuales. Además, aumenta la eficiencia de los aclarados.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** El volumen de agua de aclarado será menor.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** No se ven afectados.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: purificación de materias auxiliares.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Los aclarados entre baños son muy importantes y se necesita una calidad adecuada de lavado de las piezas, para que no se contaminen los baños sucesivos. La calidad del lavado depende de dos factores: calidad del agua y caudal de agua.

- **Caudal:** Se considera el caudal óptimo aquel que permite una renovación completa del volumen de la cuba de lavado cada hora. Aunque esta cantidad se puede reducir utilizando diferentes sistemas de lavado: enjuagues en contracorriente, en spray, etc., que se detallarán en una opción posterior.
- **Calidad:** El agua corriente lleva compuestos que son potencialmente contaminantes de los baños y que luego requerirán una gestión de eliminación o purificación posterior. Por tanto, interesa que el agua tenga la mínima dureza en forma de carbonatos y fosfatos que son los que plantean problemas de mantenimiento de instalaciones (limpieza de cubas, conducciones y desagües).

En la actualidad puede ser más rentable el uso de agua desionizada para preparar los baños de proceso, añadir los volúmenes perdidos por arrastres en los baños y algunos aclarados críticos, como los previos al tratamiento electrolítico o los finales (sellado, etc.), aumentando la eficiencia de los aclarados, incrementándose la calidad del acabado de las piezas, y por tanto, la reducción del número de piezas que hay que reprocesar (se genera mayor volumen de aguas residuales y mayores consumos de agua y energía).

Por otro lado, las aguas de aclarado estarán menos contaminadas, por lo que requerirán menor tratamiento (ahorro de productos químicos y energía). Además, se mantendrán más limpias las cubas y conducciones, por lo que la frecuencia de limpieza será menor. Si se lleva a cabo esta opción, junto a sistemas de aclarado adecuados, se puede conseguir una importante reducción del volumen de agua de aclarados. Sin embargo, se genera un nuevo residuo: las aguas de regeneración de resinas de intercambio iónico empleadas para la desionización del agua, además del consumo energético que supone.

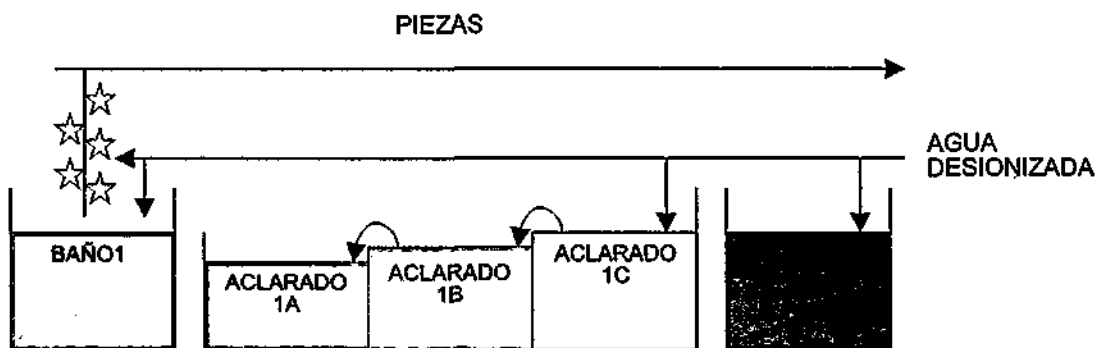


Figura 6.-1 Empleo de agua desionizada

<b>OPCIÓN:</b>	Reducción del consumo de agua
<b>NÚMERO:</b>	7

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapa o actividad implicada:** Aclarados.

**Breve descripción de la opción:** Reducción del consumo de agua mediante un adecuado diseño del tanque de aclarado, empleo de aclarados en contracorriente de múltiples etapas, aclarados con rociadores o sprays, etc.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Menor volumen de aguas residuales, que requerirán un tratamiento posterior especial.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Reducción del consumo de materias auxiliares (agua).

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad del producto puede mejorarse, al ser los aclarados más efectivos.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: modificaciones en equipos auxiliares y actividades industriales.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

- El agua en las operaciones de Tratamiento de Superficies tiene los siguiente usos:
- Aclarados para eliminar el líquido adherido a la superficie después de cada operación.
- Preparación y vaciado de los baños agotados.
- Lavado de fugas en la zona de operación.
- Limpieza de equipos: bombas, tanques, filtros, etc.
- Agua de enfriamiento en circuitos de refrigeración, si los hay.

El consumo de agua del sector de Tratamiento de Superficies en España es de unos 40 millones de m<sup>3</sup>/año. El 90 % del agua se consume en los lavados, por tanto, nos vamos a centrar en la reducción del consumo de agua mediante las técnicas de aclarado. El volumen de agua consumido en cada empresa varía según el tipo y tamaño de las piezas, el arrastre de disolución, etc. Gran parte de estas aguas pueden reutilizarse si previamente se eliminan los contaminantes que contienen, y en muchos casos, estos procedimientos de depuración son sencillos y rentables económicamente, ya que disminuye el coste de tratamiento al reducirse el volumen de agua residual.

Por tanto, los enjuagues deben realizarse con la mínima cantidad de agua posible. Los factores que influyen en el consumo de agua son:

- Colocación de las cubas.
- Duración del contacto de la pieza con el agua.
- Volumen de agua no contaminada que puede ponerse en contacto con la pieza en un período determinado.
- Temperatura de la pieza y el agua.
- Forma de la pieza.
- Posición de la pieza sobre el soporte.
- Período de secado necesario antes del enjuague.

Las técnicas de aclarado que se pueden usar para optimizar el tipo de enjuague son las siguientes:

- Simple, en un sólo tanque de aclarado con flujo continuo.
- Varios tanques en serie.
- Aclarado con aerosoles y sprays
- Aclarado a contracorriente.

En la siguiente tabla se muestran las necesidades de agua en función del tipo de enjuague.

**Tabla 7.-1**  
**Requerimientos de agua en función del tipo de enjuague**

TIPO DE ENJUAGUE	CAUDAL l/min.
Simple	37,85
Dos enjuagues en serie con igual flujo de agua	2,27
Tres enjuagues en serie con igual flujo de agua	1,13
Dos enjuagues en contracorriente con alimentación de agua sólo en la segunda cuba	1,13
Tres enjuagues en contracorriente con alimentación de agua sólo en la tercera cuba	0,38

Con independencia del tipo de enjuagues, se puede mejorar el aclarado mediante agitación, ya sea por medios mecánicos, por inyección de aire limpio, o por medios hidráulicos, es decir, con un buen diseño de las entradas y salidas del agua de las cubas, e incluso por agitación de la pieza dentro de la cuba. Además, se pueden emplear agentes humectantes.

**7.1. DURACIÓN DEL ACLARADO**

La eficacia del aclarado depende de su duración. Por ejemplo, un tiempo de contacto entre la pieza y el baño de 8 segundos extrae un 86 % de la disolución de proceso del baño anterior y una inmersión de 150 segundos extrae un 95 %. El tiempo de aclarado suele ser de 15-20 segundos, cuando existe una buena agitación, con lo que se consigue una eliminación del arrastre del 80-90 %. Si la agitación es mediana, el tiempo de inmersión debe ser de 30-60 segundos. Por último, si la agitación es mediana y la geometría de la pieza es complicada, el tiempo de contacto puede llegar a ser de 5 a 10 minutos, incluso.

**7.2. AGITACIÓN O TURBULENCIA DE LAS PIEZAS**

La agitación es muy importante, ya que facilita la mezcla homogénea del contenido del tanque. Los aclarados de las piezas pueden realizarse por varios sistemas: spray, nebulización, inundación e inmersión. Cada uno de ellos crea un grado diferente de agitación. Con el aclarado de spray se utiliza de 1/8 a 1/4 de la cantidad de agua que se utilizaría en un aclarado por inmersión, aunque su aplicación es limitada, ya que no es eficaz si hay superficies huecas o escondidas. Con el aclarado por nebulización, el agua está tan atomizada que casi está como vapor. Se emplea menos agua que con el spray y se suele emplear directamente sobre el baño de proceso para minimizar arrastres.

El aclarado por inundación consiste en poner la pieza debajo de un grifo conectado a un arrastrador de aire o aspirador que genera burbujas de aire que aumenta la agitación y desplaza la disolución de proceso de la superficie de la pieza, lo que disminuye los arrastres.

También se pueden agitar las piezas dentro del baño. Este sistema se usa en líneas de perchas manuales y su eficacia depende de la capacidad del operario que la maneja.

Se consigue agitación aplicando una convección forzada, bombeando agua por una acción propulsora o mediante la propulsión de aire.

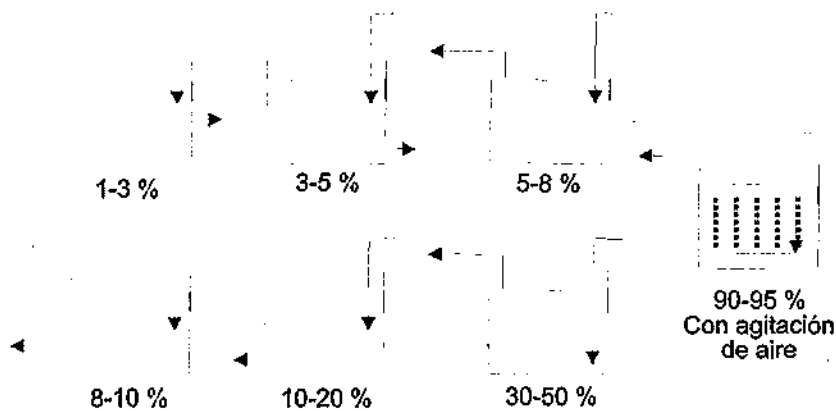


Figura 7.2.-1 Eficacia de renovación de agua de enjuague

### 7.3. CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL TANQUE

Para adoptar cualquier medida de optimización de los aclarados, en primer lugar, hay que determinar la calidad del agua de lavado para cada operación, es decir, cuál es la mínima calidad de lavado necesaria para garantizar que la operación (decapado, recubrimiento, coloración) se realiza de forma óptima. Este dato es desconocido para la mayoría de las empresas, lo que lleva a unos consumos de agua, por seguridad, incluso 1.000 veces superiores al caudal necesario.

Se define el criterio de calidad del lavado o eficacia del lavado como el cociente entre la concentración del baño de trabajo y la concentración de la última etapa de lavado, es decir, la inversa del grado de dilución. En relación al caudal de lavado y el arrastre, el criterio de lavado se puede expresar:

$$CL = C_0/C_n = C_0/C_1 * C_1/C_2 * \dots * C_{n-1}/C_n$$

$$CL = (Q_i + V_i)/V_i$$

CL = Criterio de calidad de lavado

C<sub>0</sub> = Concentración del baño

C<sub>n</sub> = Concentración en la última etapa de lavado

Q<sub>i</sub> = Caudal de lavado de etapa i

V<sub>i</sub> = Volumen de arrastre en la etapa i

Lógicamente, los criterios de calidad de lavado dependen de la concentración del baño y el tipo de proceso de que se trate. En la siguiente tabla se indican los rangos de eficacia de lavado obtenidos de la experiencia práctica y que pueden servir de guía a las empresas que deseen calcular su criterio de calidad específico. Al tratarse de rangos, se empleará el superior, el inferior o el intermedio en función de las particularidades de cada empresa.

**Tabla 7.3.-1**  
**Criterios de calidad de lavado para varios tipos de baños<sup>1</sup>**

TIPO DE BAÑO	CRITERIO DE CALIDAD C <sub>0</sub> /C <sub>n</sub>
Desengrase	500-1.000
Decapado	1.000-2.000
Cincado no cianurado	1.000-5.000
Metalizados no cianurados	2.000-10.000
Cincado cianurado	5.000-10.000
Metalizados cianurados	10.000
Cromo decorativo	10.000-50.000
Pasivados crómicos	200-2.000

<sup>(1)</sup>Schwering 1995, Wolf 1995, Hasler 1993. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Recubrimientos electrolíticos.



Ahora bien, el caudal necesario para conseguir determinada calidad de lavado, más o menos ajustada, dependerá mucho del volumen de arrastres y de la técnica de lavado empleada.

Para controlar el caudal de agua en función de la concentración del agua de lavado, el tanque de aclarado debe incluir, además de una línea de distribución de agua adecuada, una válvula de control de flujo para dosificar la alimentación de agua limpia que se haya calculado que es necesaria. Si los flujos son variables, es recomendable un sistema de control de la conductividad u otro parámetro relacionado con la concentración de contaminantes, y que abra la válvula de alimentación cuando sea necesario. Este sistema es más caro, aunque es más flexible al poder trabajar con caudales variables instantáneos.

#### 7.4. TÉCNICAS DE ACLARADO

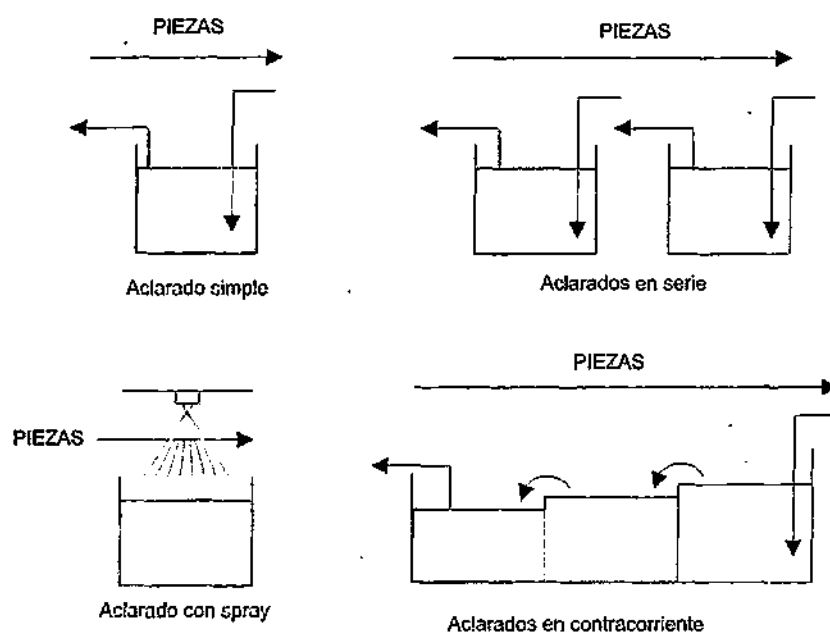


Figura 7.4.-1 Técnicas de aclarado

##### 7.4.1. ACLARADO EN CONTRACORRIENTE

El agua de aclarado circula a través de una serie de tanques con flujo contrario al movimiento de las piezas. La pieza entra primero en el tanque más contaminado, e irán pasando a los siguientes hasta salir finalmente por el que contiene agua limpia. El agua del último tanque rebosa al anterior y así sucesivamente. Del primer tanque se extrae el agua contaminada, que se envía al tratamiento o al baño de recubrimiento, pudiendo incluso establecerse un ciclo cerrado con una pérdida de productos químicos del baño de proceso. Con dos tanques de este tipo se puede reducir el consumo de agua de un 90 a 97 % respecto al baño simple. Con tres tanques se puede reducir entre un 95-99 %. En la tabla siguiente se compara el caudal total de alimentación según el tipo de aclarado respecto al aclarado simple.

**Tabla 7.4.-1**  
**Consumo de agua en varios tipos de aclarados**

	TIPO DE ACLARADO				
	SIMPLE	EN SERIE		CONTRACORRIENTE	
Nº ACLARADOS	1	2	3	2	3
CAUDAL ALIMENTACIÓN	10	0,61	0,27	0,31	0,1

El caudal se ha calculado de tal forma que la concentración máxima permitida en el último aclarado no exceda ciertas cantidades de disolución arrastrada al baño siguiente.

Para un proceso particular, el caudal necesario se puede calcular a partir del volumen de arrastres y el criterio de calidad de lavado:

$$Q = V * (\sqrt[3]{CL} - 1)$$

Si el caudal de agua de lavado es al menos diez veces superior al arrastre, se puede simplificar el cálculo de la siguiente forma:

$$Q = V * \sqrt[3]{CL}$$

Uno de los problemas que se plantean para la implantación de este sistema es la necesidad de espacio disponible en la fábrica.

#### 7.4.2. LAVADOS ESTANCOS

Existen los llamados enjuagues estáticos o estancos, que consisten en un baño no alimentado en continuo, sino que se renueva periódicamente. Es un pre-enjuague realmente, que retiene parte del arrastre. Se pueden utilizar dos o tres en contracorriente y, si se alimentan en continuo con un pequeño caudal, el rebose del tercer tanque se puede incorporar al baño de proceso, ya que tiene una alta concentración en disolución (desengrasante, decapante o de recubrimiento). Se suelen utilizar tras un baño de proceso en caliente (temperatura mayor de 40°C) para compensar las pérdidas por evaporación, como son los de niquelado, cromado y cobreado.

Los **enjuagues ECO** son una variedad de estáticos en los que se sumergen las piezas antes y después del baño de tratamiento, y no se alimenta con agua. Su concentración se estabiliza en la mitad de la del baño de proceso. Los arrastres se pueden reducir a la mitad teóricamente (en la práctica al 30-35 %). Estos se aplican a baños fríos ( $T < 40^\circ\text{C}$ ) como los de cadmiado, estañado e incluso cromado. No están recomendados para los baños de tratamientos previos, acabado o de depósito químico, ya que se pueden producir reacciones indeseables.

Estos tipos de baños tienen varias ventajas: se consume un reducido volumen de agua, se recoge gran parte de la carga contaminante en pequeño volumen, se puede devolver a la cuba de proceso el baño arrastrado (principalmente pérdidas por evaporación). Los inconvenientes son las fluctuaciones de la calidad del lavado. Al irse concentrando éste con el tiempo, son válidos únicamente para criterios de calidad bajos (se suelen combinar con otros tipos de lavados, por esta razón) y requieren gran manipulación.

#### 7.4.3. ACLARADO CON ROCIADORES O SPRAYS

Se suele realizar este tipo de aclarados directamente sobre el baño de proceso, con lo que las gotas de agua caen al tanque y se recuperan los arrastres, en lugar de diluirlos en otro tanque externo. Aunque se suele complementar con un aclarado, que requiere un menor volumen de agua porque ya ha sido prácticamente aclarada; se utiliza una sexta parte del volumen de agua empleado en los aclarados por inmersión simples.

Esta técnica no es muy eficaz cuando la pieza es muy irregular, sin embargo, es muy efectivo para láminas. Los inconvenientes de este tipo de aclarados son los siguientes:

- Instalaciones algo más complicadas.
- Necesidades de agua de calidad adecuada.
- Peligro de formación de aerosoles tóxicos, en función de la composición del baño del que procede la pieza, por tanto, deberán instalarse sistemas adecuados de recogida de estos aerosoles.

A la hora de elegir un tipo de baño u otro para conseguir la calidad de enjuague deseada y reducir el consumo de agua, sin que el coste sea excesivo, hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Objetivo de la calidad de cada enjuague (relación de dilución de la película de disolución sobre la superficie de la pieza antes de pasar al siguiente baño de proceso).
- Caudal de arrastre.
- Concentración del baño y naturaleza de los constituyentes.
- Capacidad de reciclaje de los arrastres hacia el baño.
- Superficie del taller.
- Condiciones de operación.

A modo de orientación, se puede decir lo siguiente:

1. El enjuague estático mejora la calidad del aclarado y permite recuperar productos.

2. Un enjuague ECO aumenta la calidad del enjuague por un factor 2 a igual caudal o permite dividir por dos el caudal, a igual calidad de enjuague.
3. Para valores de arrastre medios (unos 0,25 l/m<sup>2</sup>) puede aplicarse un enjuague en cascada a las operaciones de preparación de la superficie. Para los baños de deposición suele ser necesario un aclarado en contracorriente de tres cubas.
4. Es muy importante que las cubas estén muy bien homogeneizadas por los métodos que ya se han explicado.
5. Es imprescindible disponer de caudalímetros y de sistemas de regulación de caudal en la alimentación de las cubas. En algunos países es el propio Estado el que limita el consumo de agua en función de la superficie, por ejemplo, en Francia está limitado a 8 l/m<sup>2</sup>.
6. También se ahorra agua enjuagando con agua caliente y utilizando agua de buena calidad en los enjuagues críticos y en los enjuagues finales (incluso agua desionizada, como se ha explicado en otra opción).

Existen otra serie de medidas que pueden conducir al ahorro de agua y que afectan no sólo a los aclarados, sino a todos los usos del agua, como son:

Reducción de los consumos de agua injustificados, como por ejemplo, asegurarse de cerrar las válvulas de alimentación de los enjuagues que no se estén empleando.

Realizar las limpiezas de cubas, suelos, etc. por aspersión de agua.

Asegurar un buen funcionamiento para evitar fugas, etc. mediante un mantenimiento adecuado de las instalaciones.

Estas medidas son, en realidad, buenas prácticas de operación y mantenimiento, en general, que se han tratado en la primera opción.

Las medidas propuestas en esta opción no requieren una gran inversión y los gastos de mantenimiento y operación tampoco son excesivos, son sólo pequeños cambios en instalaciones para mejorar los procesos. El mayor problema puede surgir cuando hay que instalar mayor número de baños, entonces se pueden plantear limitaciones de espacio.

La aplicación de las medidas planteadas directamente afecta a la generación de aguas de aclarado contaminadas, ya que se reduce el volumen bastante. Indirectamente, se alarga la vida de los baños de proceso porque se contaminan menos, al llegar a ellos las piezas más limpias. Incluso se pueden recuperar productos químicos cuando los aclarados son estáticos o tipo ECO.

<b>OPCIÓN:</b>	Reciclaje de las aguas de aclarado
<b>NÚMERO:</b>	8

### FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Eta**pa o actividad implicada: 1.1. Desengrase, 1.2. Decapado y 2. Electrodeposición y aclarados intermedios.

**Breve descripción de la opción:** Reducción del consumo de agua mediante el reciclaje de las aguas de aclarado para reutilizarlas en los mismos aclarados o en otros procesos de la planta.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Menor volumen de aguas residuales contaminadas.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Reducción del consumo de materias auxiliares (agua) y en parte de materias secundarias, como son los reactivos para preparar los baños.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** No se altera la calidad de producto final.

Tipo de opción: Reciclaje en el emplazamiento para su empleo en el mismo proceso o en otros procesos.

### FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Además de la óptima técnica de aclarado, para ahorrar agua hay otros sistemas como el reciclaje de aguas de aclarado, ya sea para otros aclarados o para otros procesos. Para poder reciclar corrientes es imprescindible una buena segregación según composición y concentración, lo cual se puede realizar fácilmente y es muy interesante, tanto para el ahorro de agua como de materias primas.

#### 8.1. TRATAMIENTO DE CORRIENTES RESIDUALES

Los baños de proceso gastados ácidos o alcalinos pueden utilizarse para ajustar el pH o para el tratamiento de neutralización. Por ejemplo, decapado sulfúrico de aceros: los baños agotados pueden emplearse en el tratamiento de oxidación del cromo VI a cromo III.

#### 8.2. ACLARADO EN CICLO CERRADO

Se trata de emplear las aguas de lavado de un proceso para preparar el baño nuevo cuando sea necesario. Por tanto, se ahorra agua, dependiendo de la periodicidad de los cambios de baños (se ha insistido anteriormente que es conveniente alargar al máximo la vida de los baños). Conviene utilizar agua desionizada, como

se ha mencionado anteriormente. En todo caso, para reciclar las aguas de aclarado es muy importante controlar muy bien la calidad del producto.

### 8.3. TÉCNICAS DE ACLARADO REACTIVO

Para el reciclaje del agua de aclarado en la misma línea de proceso. El aclarado reactivo, además de reducir el consumo de agua, aumenta la eficiencia del aclarado, lo que mejora la calidad del recubrimiento. Consiste en el reciclado del agua de un baño a otro, aprovechando la reactividad química de ésta. Se suele aplicar en el proceso de recubrimiento con níquel. El consumo de agua puede reducirse en 2/3 respecto al aclarado simple. Con esta técnica se alarga la vida de los baños de proceso, ya que el agua utilizada para el aclarado previo está neutralizada. Otros ejemplos son los siguientes:

- Reutilizar el segundo enjuague de desengrase no cianurado en el enjuague posterior al decapado ácido o alcalino, y viceversa.
- Reutilizar el enjuague de pasivado en uno de los aclarados de pretratamientos de limpieza.
- Las aguas de aclarados finales o críticos más limpias pueden usarse en los que no requieran alta eficacia.

También existe la posibilidad de reciclar los efluentes de las operaciones de tratamiento neutralizados y clarificados, a los aclarados de las operaciones de pretratamiento, o emplearse para usos auxiliares como limpieza de suelos, materiales, etc.

Si existen sistemas de refrigeración con agua que sean en circuito cerrado, se pueden emplear estas aguas para los baños de proceso, añadiendo los reactivos químicos necesarios. Aunque esta operación se realiza esporádicamente y no supone un gran ahorro.

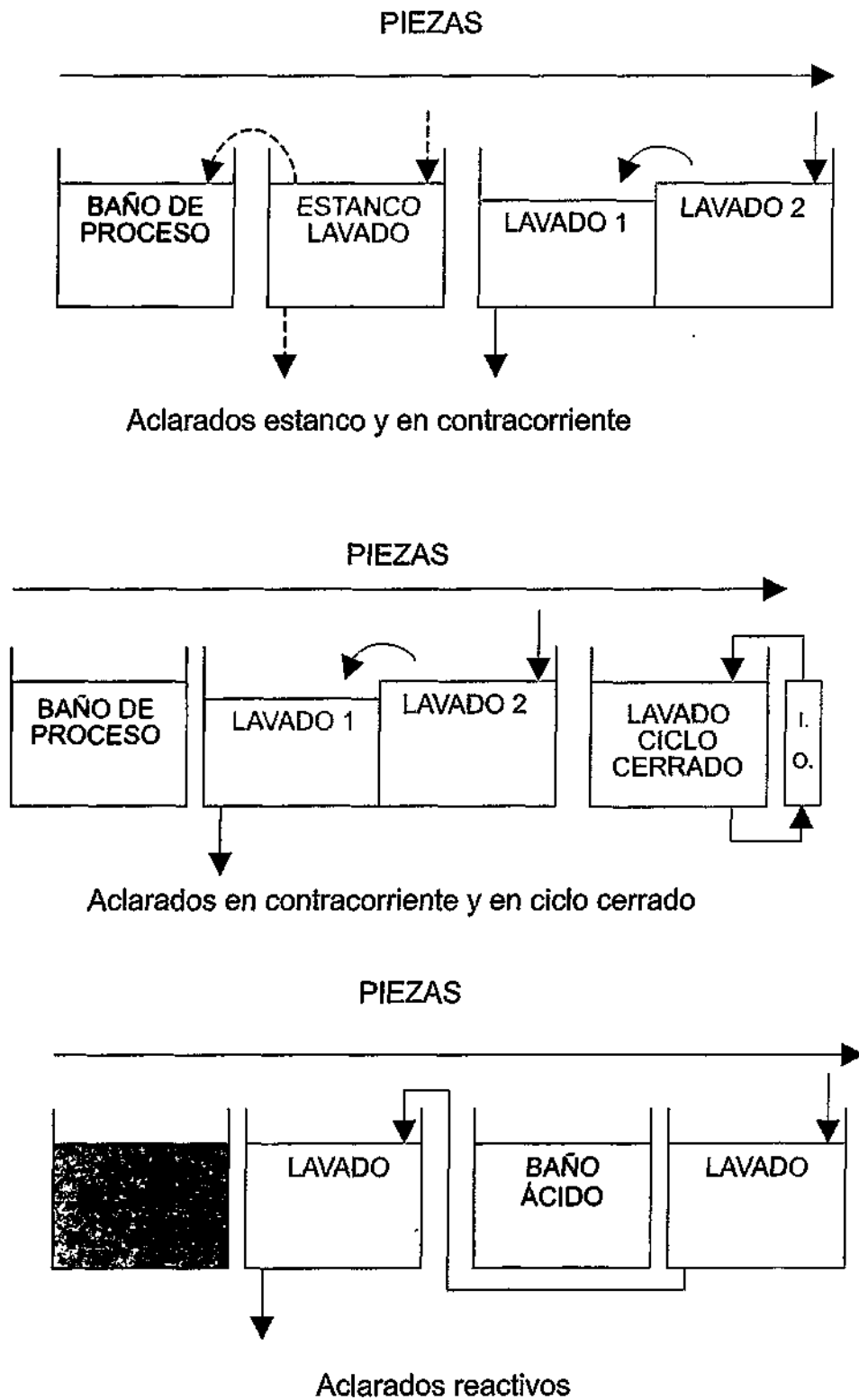


Figura 8.1.-1 Reutilización y reciclaje de aguas de aclarado

<b>OPCIÓN:</b>	Recuperación y reciclaje de metales
<b>NÚMERO:</b>	9

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapa o actividad implicada:** 2. Electrodeposición y 2.A Aclarado posterior.

**Breve descripción de la opción:** Existen múltiples tecnologías de recuperación de metales: intercambio iónico, evaporación, recuperación electrolítica, electrodiálisis, ultrafiltración, ósmosis inversa, etc. A la vez, se pueden recuperar aditivos, agentes de limpieza y aguas de aclarado.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Cuando se recuperan los metales, el volumen de fangos con hidróxidos metálicos disminuye considerablemente, lo que supone un ahorro importante en la gestión de estos residuos.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Si los metales recuperados se reutilizan en el proceso, se consigue un importante ahorro en la compra de materias secundarias para preparar las disoluciones de proceso.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** Si los metales no se reincorporan al proceso, se pueden revalorizar vendiendo los metales recuperados a otras empresas o en otros procesos de la propia empresa. En cuanto a la calidad del producto final, ésta no se ve perjudicada.

**Tipo de opción: Reciclaje en el emplazamiento:** recuperación de materias secundarias y reciclaje al proceso o reciclaje externo mediante venta a otras empresas.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

La característica principal de los baños residuales de electrodeposición y sus aguas de aclarado es el alto contenido en metales interesantes, por varias razones:

- Elevado coste de los productos químicos para la preparación de los baños.
- Muy tóxicos si se vierten a cauces.
- Gran volumen de aguas de aclarados.
- Alto coste de las operaciones de tratamiento y gestión de los residuos.

Para saber si la recuperación de metal es justificable económicamente, hay que tener en cuenta el volumen total de residuo, las concentraciones de metal en el residuo y el tanto por ciento de reciclaje alcanzable según la técnica empleada.

Existen multitud de técnicas para recuperar los metales de los baños de proceso y aclarados para volver a utilizarlos en la preparación de los baños de proceso o para venderlos a otras empresas. A continuación se desarrollan todas estas técnicas y sus aplicaciones a los distintos baños de metales.



### 9.1. EVAPORACIÓN

Consiste en la reducción del volumen del agua de aclarado y obtener un concentrado que se puede devolver directamente al baño de proceso y adicionar aguas de aclarado agotadas. En cualquier caso, el vapor de agua se condensa y recicla al sistema de aclarado. Los evaporadores pueden ser atmosféricos (más baratos) o a vacío (no se alteran los aditivos).

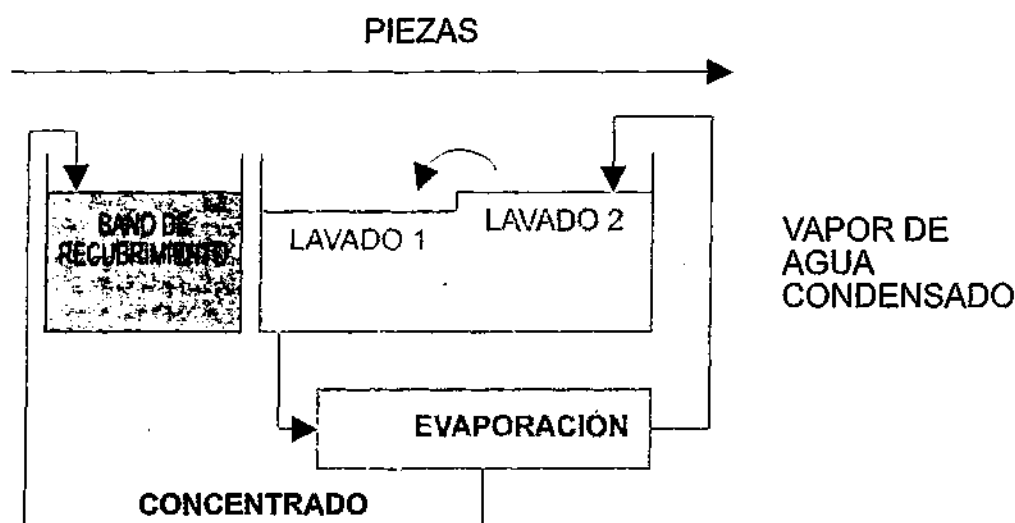


Figura 9.1.-1 Recuperación de metales por evaporación

Las ventajas que tiene la recuperación de metales por evaporación, frente a otras técnicas de recuperación de metales, son las siguientes:

- Tecnología ya establecida y fiable.
- Operación simple.
- Amplio margen de aplicación.
- Técnica barata.

Los inconvenientes o desventajas son:

- Necesita un gran aporte de energía.
- Los evaporadores suelen diseñarse para calentar vapor, por lo que hay que adaptarlos a este tipo de disoluciones.
- El aclarado debe ser múltiple en contracorriente para que el caudal sea mínimo.
- Puede necesitarse un tratamiento adicional de las impurezas concentradas.
- Puede requerir control de pH.
- Si se quiere aplicar a varias corrientes se necesitan varias unidades.

Se pueden emplear para aguas de aclarado de los procesos de cobreado ácido y cianurado, deposición de una aleación de estaño-plomo, oro, hierro, plomo, níquel, plata, cadmiado cianurado, cromado, etc.

## 9.2. INTERCAMBIO IÓNICO

Se utiliza para concentrar y/o purificar los baños de recubrimiento y para recuperar aguas de aclarado y productos químicos del proceso. Consiste en un proceso de separación en el que una resina absorbe determinados iones de la disolución y los reemplaza por otros de carga iónica similar. Existen resinas catiónicas y aniónicas para intercambiar cationes o aniones según el ión que interese separar.

Resinas catiónicas:  $R-H + A^+ \rightarrow R-A + H^+$

Se regeneran añadiendo un ácido:  $R-A + B-H \rightarrow R-H + A^+ + B^-$

Resinas aniónicas:  $R-OH + A^- \rightarrow R-A + OH^-$

Se regeneran añadiendo una base:  $R-A + B-OH \rightarrow R-OH + A^- + B^+$

La selectividad depende de lo fuerte que sea la resina. Cuando se agotan, es decir, están ocupados todos los sitios activos de la resina, deben ser regenerados por un ácido o una base, respectivamente.

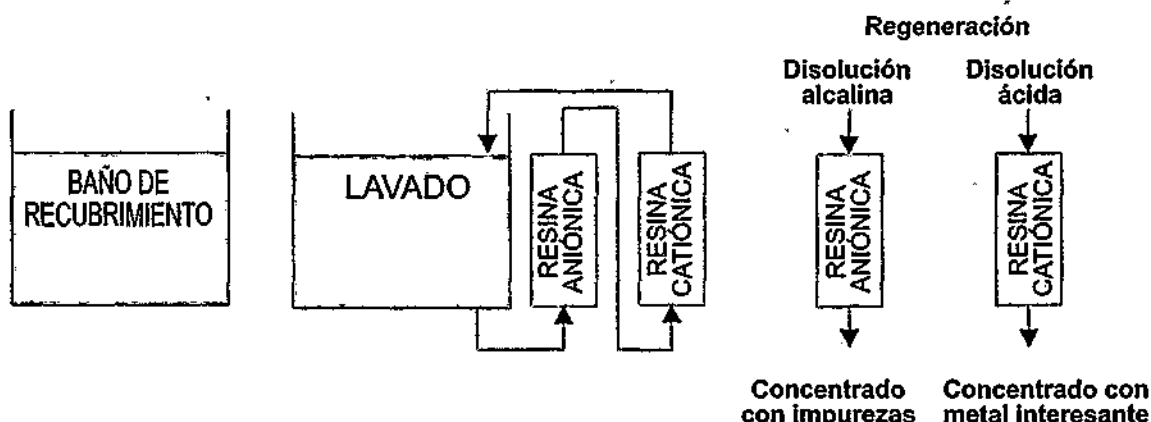


Figura 9.2.-1 Regeneración de metales por intercambio iónico

La dimensión de los equipos depende de la concentración de sales, más que del caudal de agua, por lo que se utilizan principalmente para las aguas de aclarado.

Se pueden utilizar primero una catiónica y luego una aniónica, dependiendo de lo que se quiera separar. A veces interesa poner dos columnas en paralelo: una trabaja y la otra se está regenerando mientras tanto.

Hay que tener en cuenta algunas precauciones cuando se usan, como son:

- No neutralizar las corrientes residuales a purificar, ya que aumenta el contenido salino.

- Evitar la entrada de partículas insolubles (se suele poner antes un filtro de carbón activo o de arena).
- Evitar la entrada de aceites y otros compuestos orgánicos.

Por estas razones no se deberán usar aditivos si se quieren reciclar las aguas de aclarado con esta técnica.

Las ventajas de esta técnica son la baja demanda energética que se requiere y que se recupera el metal como disolución de sal metálica lista para reciclar.

Los inconvenientes son los siguientes:

- Requiere un equipo, operación y mantenimiento complejos.
- Aplicación de un rango limitado de concentración.
- Puede requerir una evaporación posterior para aumentar la concentración.
- Se necesitan reactivos caros para la regeneración de la resina.

Se emplea para recuperar los metales de las aguas de aclarado de los procesos de deposición de oro, cromo, plata cianurada, estaño, cinc, cobre y níquel. Las eficacias de eliminación de metales en las corrientes residuales son para aluminio, arsénico y cadmio del 100 %, para el cromo y cobre del 98 %, para cianuro, hierro y oro del 97 %, para plomo, manganeso y níquel del 100 %, para el selenio, plata y estaño del 100 % y para el cinc del 99 %.

Si se quieren recuperar los metales de los baños de proceso por este procedimiento, se puede ir suministrando a las aguas de aclarado agotadas de tal forma que se diluyan, para requerir menor cantidad de resina. También se pueden usar para eliminar impurezas de los baños: por ejemplo, níquel en los baños de cromo. Esta técnica está ampliamente experimentada y es de fácil implantación. Algunos ejemplos son:

- Baños de fosfórico contaminados con hierro.
- Baños de pasivado crómico de los que se pueden eliminar cromo, cinc, cadmio e hierro.
- Baños de decapado clorhídrico con hierro en forma de complejos clorados.

### 9.3. RECUPERACIÓN ELECTROLÍTICA DEL METAL

El proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica a través de una disolución agotada que contiene metales en disolución, por lo que el metal se deposita en el cátodo (reducción a metal elemental). El cátodo suele ser plano y paralelo de mucha superficie, los más evolucionados son los tridimensionales o volumétricos. Pueden ser de acero inoxidable o de fibra de carbón y el ánodo de titanio. La velocidad de deposición y el tamaño de la célula electrolítica son los factores críticos, por lo que interesa que la disolución esté agitada. El metal se deposita hasta un espesor de 1,25 cm., después se extrae el metal limpiando el cátodo, que se vuelve a introducir en el baño. El mismo tanque de aclarado puede utilizarse como cé-

lula electrolítica de recuperación. El metal recuperado es de la misma pureza que la disolución de la que procede, por lo que se puede vender así o fundir para volver a reutilizar en la propia empresa.

La recuperación electrolítica de metal se realiza con buenos resultados en los baños de los metales: oro, plata, estaño, cobre, cinc, aleaciones de estaño y plomo y cadmio. Se puede recuperar hasta un 99 % del metal de las disoluciones de aclarado, aunque en realidad se suele recuperar del 90-95 %.

También es posible la separación por cambio en el grado de oxidación del metal por oxidación en el ánodo o por reducción en el cátodo (por ejemplo, regeneración electrolítica de baños sulfocrómicos de ataque de materiales plásticos).

Las ventajas del empleo de esta técnica son las siguientes:

- Sólo recupera metales.
- Obtención de productos vendibles no peligrosos.
- Es eficiente energéticamente.
- Bajo mantenimiento.
- Elimina el ión metálico y disminuye la formación de impurezas.

Los inconvenientes son:

- Debe controlarse la concentración de la disolución.
- Los humos pueden requerir sistemas especiales de depuración.

#### 9.4. ELECTRODIÁLISIS

La electrodiálisis es un proceso en el que especies iónicas se intercambian a través de una membrana selectiva, por la acción de un campo eléctrico. La membrana permite el paso de ciertas especies de determinada carga e impide el paso de las de signo contrario. El flujo de iones es de la disolución menos concentrada a la más concentrada.

Se aplica principalmente para la concentración y/o purificación de disoluciones diluidas como las aguas de lavado que contengan cobre, níquel, plata, cianuro, ácido crómico, hierro, cinc, etc. La célula de electrólisis consta de un ánodo y un cátodo separados en dos compartimentos mediante una membrana aniónica. En una celda está la disolución de la que se van a extraer los iones (por lo que se puede reutilizar en los tanques de aclarado) y por el otro la disolución a concentrar que podrá enviarse al baño de proceso correspondiente. Se suelen asociar varias celdas.

Las ventajas que tiene la electrodiálisis para recuperar metales son las siguientes:

- Consigue una concentración mayor que la ósmosis inversa o el intercambio iónico.
- Eficiente energéticamente.
- No concentra productos orgánicos.

Por el contrario, tiene varios inconvenientes:

- Filtración de entrada necesaria.
- Membrana sensible a la distribución del flujo, al pH y a los sólidos en suspensión.
- Nueva tecnología: vida útil de la membrana no determinada con exactitud.

Se pueden plantear problemas de incrustaciones en las membranas, polarización por concentración cerca de la membrana, etc. por lo que se suelen añadir ácidos o polifosfatos para controlar estos problemas. También se puede invertir la corriente periódicamente para limpiar la superficie de la membrana, invirtiendo, a su vez, los flujos concentrados y diluidos

El rendimiento que se puede obtener es del 95-97 % y se ahorran materias auxiliares, para la preparación de los baños de proceso, y agua.

#### 9.5. ELECTRO-ELECTRODIÁLISIS

Esta técnica es la unión de las dos anteriores: se consigue separar selectivamente aniones y cationes interesantes y en los electrodos se producen reacciones de oxidación y reducción.

Se emplean generalmente para la regeneración del ácido crómico, en las aguas de enjuague tras el cromado. El ácido crómico recuperado en el compartimento anódico puede reciclarse al proceso.

Las ventajas de emplear esta técnica son la suma de las dos técnicas de las que consta y los inconvenientes también.

El aporte de energía necesario es alto, por lo que es rentable en instalaciones que sean grandes consumidoras de ácido crómico.

#### 9.6. ÓSMOSIS INVERSA

El proceso consiste en la aplicación de una presión a la disolución a tratar para hacer pasar el agua a través de una membrana semipermeable que retiene sales y contaminantes. Se obtiene agua limpia, que se vuelve a utilizar en los lavados, y una disolución concentrada, que se puede reciclar a los baños de recubrimiento.

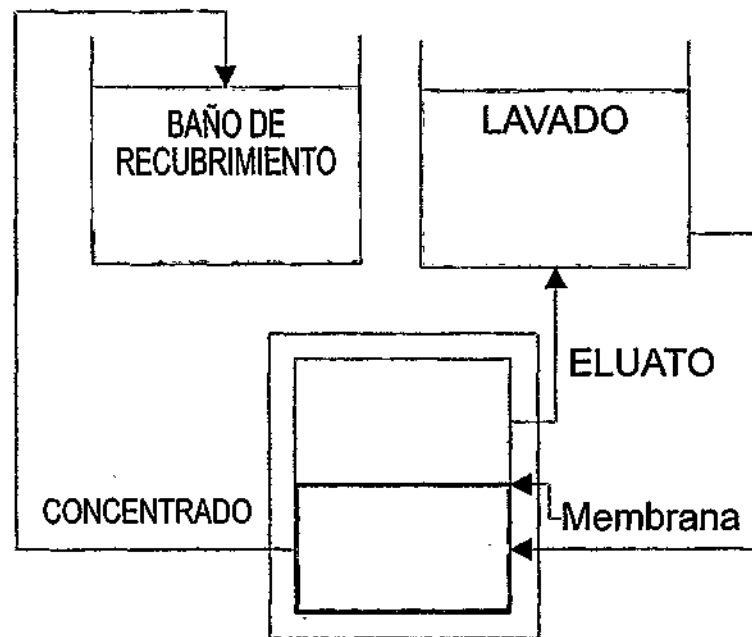


Figura 9.6.-1 Recuperación de metales por ósmosis inversa

Se obtienen altos rendimientos de eliminación: 92-99 % de cobre, 99 % de ácido crómico, 88-90 % de cinc, 98 % de dicromato, 86-90 % de níquel (aplicación ampliamente implantada), 90-92 % de cadmio, 88-96 % de cianuros, etc.

Si la recuperación del metal no es lo más importante, el ahorro de agua que se consigue y la reducción de la carga contaminante son ya suficientemente interesantes para instalar un sistema de ósmosis inversa, ya que además tiene otras ventajas: recupera bajas concentraciones, requiere poco espacio, menor consumo energético que la evaporación, y se pueden recuperar aditivos valiosos. Algunos inconvenientes son que el rango de concentración es limitado, es esencial una filtración previa, la membrana es sensible al pH y es necesario un buen control de presiones y caudales.

### 9.7. ULTRAFILTRACIÓN

Este es un proceso de separación en el cual la membrana sólo deja pasar las moléculas con un tamaño menor al del paso de la misma y que puede ser de 10 a 200 Å. La separación se produce por diferencias de forma, tamaño y estructura química. Se obtiene un concentrado con las moléculas de mayor tamaño y un ultrafiltrado con las moléculas que atravesaron la membrana.

Se utiliza para recuperar disolventes y lejías de los baños de desengrase, separando los aceites, evitando que lleguen a la planta de tratamiento de efluentes, donde pueden dificultar los procesos de coagulación y floculación. También se puede aplicar a la recuperación de metales, complejándolos en moléculas de mayor tamaño,

en las que, una vez separadas por ultrafiltración, se procede a la recuperación de los metales por electrólisis.

La principal ventaja de esta técnica es su bajo coste de operación, aunque el rango de temperatura de operación es limitado.

### **9.8. CRISTALIZACIÓN**

Esta técnica se puede aplicar para la recuperación de sulfato de cobre a partir de los baños agotados de decapado y el sulfato de cobre de las disoluciones de electrodeposición agotadas, principalmente. Se enfría la disolución para disminuir la solubilidad de la sal, entonces precipita en forma de cristales, que luego se separan por filtración.

### **9.9. CALCINACIÓN**

Se emplea para recuperar óxido de plomo u otros metales de fangos. Primeramente hay que eliminar el agua y otros compuestos volátiles. Mediante la calcinación, el metal se oxida, por lo que se recupera en forma de óxido.

### **9.10. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES**

Se puede emplear para recuperar y concentrar cationes metálicos de lixiviados o baños concentrados con metales. Aunque su elevado coste limita su aplicación. También se pueden extraer los hidróxidos precipitados de los lodos, fraccionando la separación de los distintos metales mediante rangos de pH. Una vez extraído, se puede obtener el metal puro por electrólisis, o directamente se prepara la disolución de proceso a partir del metal recuperado.

Se puede aplicar a la recuperación de sales de cobre, cinc y níquel cuando la cantidad de metal es considerable. Es importante eliminar la materia orgánica previamente. La inversión inicial es alta y los disolventes que hay que emplear, normalmente, son caros.

### **9.11. TRATAMIENTO DE LODOS**

Los precipitados metálicos resultantes de los tratamientos al final de línea de los baños agotados de electrodeposición, principalmente, se deshidratan con un filtro prensa y posteriormente se pasan por un tambor secador conectado a un horno y finalmente en un alto horno se pueden fundir y obtener los lingotes metálicos. Se puede recuperar energía térmica a la vez.

Esta opción es rentable para grandes instalaciones, ya que la inversión inicial es muy alta.

Otra posibilidad más sencilla es el tratamiento de los lodos con ácido sulfúrico para lixiviar los metales disueltos selectivamente, en función del pH y extracción posterior. Se pueden separar cobre, cinc, hierro y níquel del precipitado. La lixiviación también puede ser amoniacal y la extracción final de los metales se realiza por electrólisis.

En algunos casos se emplea la combinación de varias técnicas para conseguir una recuperación óptima de los metales interesantes. En casi todas se consigue ahorro de agua a la vez que se recupera el metal.

Para llevar a cabo estas técnicas, normalmente, hay que eliminar los compuestos orgánicos de la corriente que se quiere purificar, porque dificultan los procesos con membranas y resinas, de intercambio iónico, etc. Por ello, si se quieren usar estas técnicas de recuperación, es conveniente emplear la menor concentración posible de compuestos orgánicos como activadores, humectantes, tensoactivos, etc. o compensar su uso con el aumento de la temperatura de los baños, aumento del tiempo de escurrido, y otras medidas alternativas que se han ido desarrollando para cada opción.

En general, con estas técnicas se reducen las corrientes residuales de electrodeposición y sus aclarados posteriores, consiguiéndose unos efluentes aptos para verter directamente, porque pueden estar por debajo del nivel que indica la legislación.

Algunas de las técnicas expuestas se aplican a los baños de decapado en los que se consigue regenerar el ácido y recuperar subproductos como sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ). Estas corrientes también estarán menos concentradas y requerirán un tratamiento más sencillo, e incluso nulo.



<b>OPCIÓN:</b>	Sustitución del ácido crómico
<b>NÚMERO:</b>	10

### FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etapas o actividades implicadas:** 1.2. Decapado y 2. Electrodeposición.

**Breve descripción de la opción:** Sustitución del cromo hexavalente, que es muy tóxico, por otros compuestos como el agua oxigenada, compuestos de cromo III, etc. Estos sustitutos son más baratos y los residuos que se generan se pueden eliminar más fácilmente.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Emisiones y residuos menos tóxicos y más fácilmente reducibles o eliminables y con menor coste.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Las disoluciones de electrodeposición o decapado con ácido crómico requieren menos concentración de productos químicos, por lo que disminuyen los costos de materias secundarias y auxiliares.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad del producto final es la misma, o incluso mejor, cuando se emplea cromo III.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: sustitución de materias secundarias y auxiliares.

### FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

El ácido crómico se usa en los baños de decapado y en los de recubrimiento electrolítico de cromado. Como ya es sabido, el cromo VI es un compuesto muy tóxico para la salud y el medio ambiente.

Como residuo, aparece en los baños de proceso, aclarados, fugas, neblinas sobre los tanques de recubrimiento, etc. y este residuo es imprescindible tratarlo químicamente para reducirlo a cromo III, que es mucho menos tóxico. Esta operación tiene un elevado coste, ya que requiere el uso de compuestos químicos.

Los sustitutos posibles son los siguientes:

- Peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) en disolución. Parece ser económicamente viable frente al decapado con ácido crómico y que se reducen bastante los costes de gestión de residuos.
- Compuestos de cromo III. Las ventajas de estos compuestos son: 1) Las concentraciones de cromo que se requieren son dos órdenes de magnitud, aproximadamente, menores que las hexavalentes, lo que supone una importante reducción de la presencia de cromo en los lodos y emisiones. 2) Además, el cromo III se separa fácilmente de las aguas residuales por precipitación. 3) La disolución de cromo III es menos viscosa, por lo que se reducen los

- arrastres, que son una de las fuentes más importantes de contaminación de los aclarados.
- 4) Requieren un menor paso de corriente para depositar un grosor equivalente de recubrimiento.
  - 5) Tienen un mejor poder de deposición, especialmente en huecos y concavidades.
  - 6) No deposita capas resquebrajadas.

Esta sustitución es viable en el cromado decorativo, aunque el color que se obtiene no es exactamente el mismo que el del recubrimiento con cromo VI y los espesores del recubrimiento son algo más finos.

Por tanto, siempre que sea posible, sería conveniente sustituir el cromo VI por otros compuestos, especialmente de cromo III, por las importantes ventajas medioambientales y económicas que conlleva. Si la sustitución no es posible, por exigencias de acabado de la pieza, entonces debe recurrirse a la recuperación y reciclaje de las disoluciones de cromo VI, que se desarrolla en otra opción, o al empleo de disoluciones diluidas. El baño de cromado se debe agotar al máximo hasta que la cantidad de cromo III y de hierro sea máxima, entonces se separan por una resina catiónica que retiene cromo III e hierro.

En algunos tipos de recubrimientos, es posible la sustitución del cromado por un recubrimiento con cobalto-estaño, aunque el rendimiento es más bajo.

Los baños de decapado y electrodeposición en los que se sustituye el cromo VI por cromo III serán menos tóxicos. Si la concentración es menor, se reduce el volumen de corrientes residuales a tratar posteriormente, y, a su vez, son de más fácil tratamiento (precipitación). Los aclarados posteriores también serán menos tóxicos, menos concentrados y de fácil tratamiento.

<b>OPCIÓN:</b>	Sustitución de las disoluciones de cadmio
<b>NÚMERO:</b>	11

**FICHA S-2**  
**DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN**

**Etapas o actividades implicadas:** 2. Electrodeposición.

**Breve descripción de la opción:** Sustitución de los recubrimientos de cadmio por otros materiales como cinc, dióxido de titanio, etc.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Residuos no tan tóxicos.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** Sustitución de materias auxiliares menos tóxicas, y a veces, más baratas

**Influencia sobre los productos y subproductos:** La calidad del recubrimiento con otros materiales no es la misma que con el cadmio, pero podría ser aceptable en muchas aplicaciones.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente: sustitución de materias secundarias.

**FICHAS E-1 Y E-2**  
**INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN**

Los recubrimientos con cadmio se caracterizan por su gran resistencia a la corrosión, especialmente en entornos muy agresivos (marinos o de tierra), fácil soldabilidad, blancura brillante, etc. para la protección de equipos navales y aeroespaciales. Estas especiales propiedades lo hacen *insustituible* en algunos casos, pero en la mayoría de ellos se puede sustituir por cinc, dióxido de titanio, aluminio y combinaciones cinc-níquel, con las que se obtienen prácticamente los mismos resultados.

Por ejemplo, si se sustituye por cinc, la resistencia a la corrosión es muy buena, aunque el poder lubricante es menor. Esto puede corregirse mediante un tratamiento posterior con una emulsión acuosa. La soldabilidad también es menor, pero puede corregirse mediante recubrimientos con estaño o estaño-plomo.

Estas sustituciones deben llevarse a cabo en el mayor número de procesos posibles, ya que el cadmio es un metal muy tóxico y su contenido en los efluentes industriales está muy restringido por la legislación.

<b>OPCIÓN:</b>	Disoluciones de recubrimiento no cianuradas
<b>NÚMERO:</b>	12

## FICHA S-2 DESCRIPCIÓN DE LA OPCIÓN DE MINIMIZACIÓN

**Etaapa o actividad implicada:** 2. Electrodeposición

**Breve descripción de la opción:** Sustitución de los baños cianurados que son muy tóxicos por otros tóxicos: cincado alcalino, cincado con cloruro de cinc, cadmiado no cianurado, cobreado con sulfato de cobre.

**Influencia de la opción elegida sobre las emisiones/residuos:** Corrientes residuales menos tóxicas y de eliminación más sencilla y menos costosa.

**Influencia sobre las materias primas, secundarias y auxiliares:** En algunos casos, es necesaria una mejor limpieza de la superficie de las piezas.

**Influencia sobre los productos y subproductos:** No siempre se obtiene la misma cantidad de acabado de piezas y con los baños cianurados. Con piezas de acero, cinc y plomo, no se pueden utilizar más que los baños cianurados.

**Tipo de opción:** Reducción en la fuente. Sustitución de materias secundarias.

## FICHAS E-1 Y E-2 INFORME GENERAL DE LA OPCIÓN

Las disoluciones cianuradas son muy tóxicas, como ya se ha explicado en fichas anteriores, por lo que es muy importante la reducción del empleo de dichas soluciones para no poner en peligro la seguridad y la salud de los trabajadores y para facilitar el tratamiento especial que requieren los residuos que se generan.

Los baños cianurados se usan puntualmente para decapar las piezas metálicas, cuando la calidad de limpieza es muy exigente. Si no lo es tanto, se pueden emplear otros baños, ya sean ácidos o básicos, más fáciles de regenerar o tratar y que son menos tóxicos.

Se emplean baños cianurados en los recubrimientos con cinc, cadmio y cobre, principalmente, porque toleran bastantes impurezas, y el proceso es fácil de controlar, por lo que las piezas no necesitan una limpieza exhaustiva y los baños deben ser filtrados con poca frecuencia, lo que abarata costes en el proceso (no en el tratamiento final del residuo).

Los sustitutos para el cincado cianurado son el cloruro de cinc y el cinc alcalino. En el caso del cobreado se puede utilizar el sulfato de cobre con el que se obtienen buenos resultados. Los inconvenientes de este tipo de compuestos son los siguientes:

- Requieren un control minucioso de las concentraciones del baño.
- Las piezas deben llegar al baño de recubrimiento más limpias para conseguir la calidad de recubrimiento deseada.
- La sustitución no puede ser total, ya que para ciertos metales no se consiguen los mismos resultados: resistencia a la corrosión, ductilidad, etc. Por ejemplo, el cobreado no resulta de buena calidad en el recubrimiento de aceros, cinc y plomo.

En el cincado ácido con cloruro amónico potásico o ácido bórico, los baños son muy corrosivos y sensibles a la contaminación, por lo que, en algunos casos, la sustitución de los baños cianurados no es posible, por la calidad exigida de recubrimiento. Entonces, se podrían sustituir por baños cianurados de media concentración y sin humectantes u otros aditivos para facilitar el tratamiento posterior, aunque los tiempos de escurrido necesarios serán mayores.

Otros posibles sustitutos de los cianuros son compuestos orgánicos complejantes, aunque cuando los baños están agotados, se plantean dificultades para precipitar los iones metálicos, ya que se forman complejos que escapan al tratamiento clásico.

Por otra parte, desde el punto de vista económico, los baños no cianurados tienen un coste mayor, aunque puede compensarse con la reducción en los costes de gestión y en los riesgos para los empleados.

- Las corrientes residuales de decapado son más fáciles de regenerar o tratar si no se usan baños cianurados.
- En el recubrimiento electrolítico los residuos serán menos tóxicos y de más fácil tratamiento.

## **5. EJEMPLOS DE EMPRESAS QUE HAN IMPLANTADO MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN**

Puesto que no es posible realizar el análisis de viabilidad exhaustivo de las medidas de minimización propuestas, se presentan a continuación los resultados obtenidos por diferentes empresas: reducción de la carga contaminante, reducción de los consumos de materias, en algunos casos también se incluye información acerca de las inversiones, ahorros y rentabilidad.

Tabla 5-1 Ejemplos de empresas que han implantado medidas de minimización

Nº	TIPO DE PROCESO	MEDIDA DE MINIMIZACIÓN	TIPO	% REDUCCIÓN	INVERSIÓN (ptas.)	COSTES ADICIONALES (ptas./año)	REDUCCIÓN COSTES (ptas./año)	AHORROS ANUALES (ptas./año)	PERIODO DE RETORNO
1	Fabricación de elementos de fundición para automóviles	Aumento de la vida de los baños de fosfato mediante control en de faldas y control del tipo de baño	1	Se duplica vida útil					
2	Producción de moneda	Ajuste de condiciones de producción y baños de menor volumen	1	75 % consumo de fergento 76 % baños agitados					
3	Fabricación de electrodomésticos	Mejora del material usado de los baños de desengrase para el fuso	1	84 % consumo desengrasantes 84 % consumo agua 46 % residuos generados					
4	Fabricación de piezas para autómata	Cambio de lubricante protector de piezas que no requiere desengrase con disolvente	2A	100 % consumo disolvente				974 000	
5	Producción de grifería, válvulas y termostatos	Sustitución de desengrase con disolvente por ácido	2A	40 % consumo disolvente 39 % residuo disolvente 44 % emisiones disolvente	12 000 000	840 000	4 945 000	4 105 000	2,92 años
6	Línea de ensado	Sustitución de los baños de ensado consumida por ensado seco	2A	costos de tratamiento				1 400 000	
7	Fabricación de herramientas	Depuración de los baños de decapado con el ácido	2A	70 % ácido	1 490 000			600 000	
8	Tratamiento de superficies metálicas	Explotación de piezas que estas se lavan desengrasadas	2A						
9	Fabricación de componentes eléctricos	Ultrasonido de baños de desengrase	2A		4 800 000				1 año
10	Tratamiento de superficies metálicas	Ahorro del consumo de ácido de decapado mejorando las condiciones de almacenamiento de piezas	2A					3 989 000	
11	Tratamiento de superficies metálicas	Aumento del tiempo de escumido de piezas	2B	5 % de taladrina protectora					
12	Tratamiento de superficies	Instalación de lavados tipo spray y caudal metros	2B	25 % consumo agua					
13	Fabricación de maquinaria	Acelerado en spray	2B	50 % agua	282 000			40 000	
14	Fabricación de tuberías	Sustitución del ácido cromico en el decapado	2B	materias auxiliares tratamiento de corrientes residuales				1 820 000	
15	Fabricación de maquinaria	Reducción de arrastres optimizando la introducción y extracción de piezas en el baño	2B	75 % de arrastres de productos químicos				1 100 000	
16	Fabricación de herramientas	Reducción de arrastres, reduciendo al 50% la concentración del baño de cincado electrolítico	2B					1 000 000	
17	Línea de niquelado	Reducción de arrastres, reduciendo al 50% de la concentración del baño de niquelado electrolítico	2B	20 % generación de lodos (de 210 a 170 kg/día)	16 000 000				1 año
18	Línea de cobreado-niquelado-cromado	Alargar la vida de baños	1	80 % consumo agua				1 900 000	
		Reducción de arrastres aumentando tiempo de escumido 30 %	2B	productos químicos baño					
		Optimización técnica de lavado: 3-4 cubas en cascada	2B	productos químicos depuración					
		Incremento de evolución electrolítica	3A						

Tabla 5.-1 Ejemplos de empresas que han implantado medidas de minimización

Nº	TIPO DE PROCESO	MEDIDA DE MINIMIZACIÓN	TIPO	% REDUCCIÓN	INVERSIÓN (ptas.)	COSTES ADICIONALES (ptas./año)	REDUCCIÓN COSTES (ptas./año)	AHORROS ANUALES (ptas./año)	PERIODO DE RETORNO
19	Tratamiento de superficies	Optimización de la técnica de aclarado	2B		400.000			404.000	0,99 años
20	Fabricación de cubiertos	Optimización del sistema de dosificación de materias auxiliares. Cambio tipo de envases.	2B	5% pasta de pulido	1.500.000	75.000	1.140.000	1.065.000	1,4 años
21	Fabricación de cubiertos	Reducción del nº de baños de desengrase con disolventes de 8 abiertos, semiabiertos y herméticos o 4 baños, uno abierto y 4 herméticos	2B		11.105.000	4.029.000	20.518.000	16.489.000	0,67 años
22	Fabricación de elementos de iluminación para automóviles	Sustitución de limpieza con sosa de cámara de metalizado por recubrimiento de ésta por laca pelable	2C						
23	Fabricación de cubiertos	Reducción del número de piezas reprocesadas (Plan de calidad)	2C	13% materias primas					
24	Anodizado de aluminio	Aclarados con agua desionizada (leasing de unidad)	2C		27.000	48.000			
25	Fabricación de llaves	Minimización de arrastres y recuperación de parte del baño de níquel	3A	39 % baño de níquel			1.400.000 (35 %)		
				15 % consumo agua.					
				25 % productos químicos depuración					
				30 % lodos de depuración					
26	Fabricación de llaves	Recuperación de electrofito, instalando canales de drenaje	3A	productos químicos y tratamiento de residuos	31.500			300.000	
27	Fabricación de llaves	Recuperación de cobre y níquel por evaporación	3A						
28	Fabricación de material médico	Recuperación de níquel por ósmosis inversa	3A	productos químicos	6.200.000			4.000.000	
29	Fabricación de cintas magnéticas	Recuperación de cobre por electrolisis	3A	costes de operación	1.650.000			1.900.000	
30	Línea de niquelado	Recuperación de níquel por electrolisis	3A	materias primas (níquel)	25.000.000	60.000			Rentable si > 300kg/sem.
31	Cromado de chapas	Reciclaje de los baños de ácido crómico	3A					12.876.000	
32	Fabricación de herramientas	Reciclaje interno de disolventes	3B	costes de tratamiento externo	8.500.000	4.000.000		13.600.000	
33	Industria metalúrgica	Reutilización del agua de refrigeración para lavados en continuo de piezas	3C	45-70 % volumen agua					
34	Fabricación de maquinaria	Recuperación de metales de los lodos 2.200 t/a	4A			91.000	-93.000 venta de níquel	23.000	

CLASIFICACIÓN DE MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN

- |    |   |    |  |
|----|---|----|--|
| 1  | BUENAS PRÁCTICAS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 3  | RECICLAJE INTERNO                                |
| 2  | REDUCCIÓN EN ORIGEN                           | 3A | RECICLAJE PARA SU EMPLEO COMO MATERIA PRIMA      |
| 2A | SUSTITUCIÓN/PURIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS   | 3B | RECUPERACIÓN DE MATERIAL                         |
| 2B | MODIFICACIONES EN EL PROCESO PRODUCTIVO       | 3C | UTILIZACIÓN DEL RESIDUO PARA UNA APLICACIÓN ÚTIL |
| 2C | MODIFICACIONES EN EQUIPOS Y ACTIVIDADES       | 4  | RECICLAJE EXTERNO                                |
| 2D | SUSTITUCIÓN DEL PRODUCTO                      | 4A | VENTA A OTRA EMPRESA                             |
|    |   | 4B | PAGO POR RECOGIDA A UN GESTOR EXTERNO            |



## 6. CONCLUSIONES

El potencial de mejora medioambiental en el Sector de Tratamiento de Superficies, especialmente los recubrimientos electrofíticos, es muy elevado, como se puede deducir del gran número de medidas expuestas para el sector en su conjunto.

Los elementos motivadores para acometer un Plan de Minimización por una empresa en particular son muy diversos, por ejemplo, se desea o necesita:

- Realizar un autodiagnóstico medioambiental, con el fin de implantar a corto o medio plazo un Sistema de Gestión Medioambiental certificable/ verificable, o prepararse para el cumplimiento de legislación futura más exigente.
- Mejorar la calidad del proceso, porque lo exige el cliente, existe un elevado número de piezas que hay que reprocesar, se están realizando consumos de agua, energía, materias primas, etc. excesivos, etc.
- Ahorrar costes medioambientales: costes de mantenimiento y operación de la planta depuradora de aguas residuales elevados, próxima instalación de planta depuradora si no la hay, coste excesivo de la gestión de residuos peligrosos (baños concentrados, lodos de depuradora, etc.). Incluso si desea reducir los costes de las bajas laborales por accidentes, como derrames de productos químicos, inhalación de disolventes o ácidos, etc.
- Mejorar la imagen de la empresa: demostrando al Ayuntamiento que cumplen la legislación y que tienen un compromiso de mejora medioambiental a medio plazo; de cara a sus clientes, sus vecinos y sus empleados (quejas, molestias, etc.), etc., o simplemente porque desean ser una empresa respetuosa con el medio ambiente.

Esta guía puede ser útil para las empresas del sector que se inicien en la minimización de residuos, por cualquiera de las razones anteriores. Está basada en el Manual MEDIA publicado por el Ministerio de Industria, aunque existen otras metodologías similares como las propuestas por el Institut Cerdá y el IHOBE. La utilización de un Manual ayuda a plantearse gran número de cuestiones: causas de generación de residuos, posibilidades de mejora, legislación medioambiental, etc. Además, facilitan la recogida de datos del proceso, las corrientes residuales, los problemas medioambientales, costes, inversiones, ahorros, aspectos técnicos, etc. al tener el formato de Fichas y cuestionarios que abarcan todos los aspectos.

Los pasos a seguir para llevar a cabo un Plan de Minimización serán:

1. Organizar un equipo de trabajo apoyado desde la alta dirección, motivado y formado para acometer el proyecto. Fichas O
2. Analizar el proceso desde el punto de vista medioambiental, para detectar ineficiencias, problemas medioambientales, incumplimientos legales y costes medioambientales. A continuación se da prioridad a los residuos, vertidos y emisiones sobre los que hay que actuar según los criterios que se plantee la empresa. Fichas G-1 a G-12

3. Plantear posibles medidas de minimización aplicables al proceso. Si son muchas, se desarrollan a fondo las más sencillas y atractivas y que se estime que van a tener resultados positivos a corto plazo. Las medidas deberán ser a priori factibles, rentables, suponer una minimización de residuos y tener probabilidades de éxito.
4. Estudiar en detalle, desde el punto de vista técnico, medioambiental y económico, las opciones más interesantes para decidir las que es posible implantar.
5. Implantación y seguimiento de las opciones viables, para lo cual es necesario definir indicadores de medida para comprobar que surten los efectos esperados o realizar correcciones si es necesario.
6. Comunicar los beneficios obtenidos a la alta dirección. El éxito de las medidas implantadas actúa como elemento motivador para detectar e implantar nuevas medidas y avanzar en el proceso de mejora medioambiental.

En este trabajo se ofrecen una serie de opciones que abarcan prácticamente todas las corrientes residuales que actualmente se generan en las industrias de Tratamiento de Superficies. En primer lugar, se dan una serie de ideas para reducir la generación de residuos y emisiones sin que se requieran infraestructuras o tecnologías muy especiales o costosas, como son las buenas prácticas de operación y mantenimiento, con las que se consigue una reducción en la generación de residuos con un coste mínimo. Se caracterizan por su fácil implantación y porque requieren una inversión mínima. Son, por ejemplo, el buen mantenimiento de las instalaciones para evitar goteos, fugas y reboses, la segregación de corrientes residuales para su adecuado reciclaje o tratamiento óptimo; el aumento de la vida útil de las disoluciones, etc.

A continuación se exponen otras como son la reducción de arrastres, reducción de consumo de agua, reducción de las emisiones a la atmósfera, sustitución de los reactivos más tóxicos por otros que lo sean menos; éstas son medidas de reducción en la fuente. Las medidas de recuperación y reciclaje propuestas están relacionadas con la regeneración de algunos baños (desengrase, decapado, disolventes etc.), el reciclaje de disolventes, aguas de aclarado, baños metálicos, etc. También se dan algunas soluciones de reciclaje externo cuando las anteriores no son viables, por ejemplo, el reciclaje de disolventes y recuperación de metales (de los baños concentrados) por un gestor externo, especializado en estas técnicas.

Generalmente, las medidas más sencillas, como las buenas prácticas y reducción en origen, son las menos costosas.

En resumen, para minimizar la generación de residuos, vertidos y emisiones en los procesos que tienen lugar en el Sector de Tratamiento de Superficies, cumpliendo la legislación, aumentando la calidad del proceso y reduciendo costes, las principales medidas de minimización que las empresas pueden adoptar son las siguientes:

- Alargar la vida útil de los baños, mediante buenas prácticas de operación y mantenimiento
- Optimizar la técnica de aclarado, a partir del cálculo del criterio de calidad de lavado.

- Minimizar los arrastres entre baños y aclarados, e incluso devolver parte de la disolución arrastrada al baño de proceso
- Reducir el consumo de agua
- Recuperar los metales interesantes contenidos en las aguas residuales, baños de proceso o lodos de tratamiento de aguas.

Hay que reconocer que mediante técnicas de minimización es muy difícil reducir a cero la generación de residuos, vertidos y emisiones, puesto que la eficiencia del proceso está condicionada por la pureza de las materias primas y por la utilización de materias auxiliares y secundarias que no se incorporan al producto final, por lo que, tras el proceso, aparecen subproductos, residuos, vertidos o emisiones a la atmósfera.

Por otro lado, aunque las opciones de minimización propuestas pueden suponer una reducción muy importante en la generación de residuos, vertidos y emisiones, en la mayoría de los casos será necesario un tratamiento fin de línea para reducir por debajo de los límites legales determinados parámetros, puesto que, al ahorrar agua, por ejemplo, las aguas residuales que inevitablemente se generen, lógicamente, estarán más concentradas y superarán los límites de vertido; deposición de residuos sólidos (inertes y peligrosos) y tratamiento de emisiones a la atmósfera (poco importantes en este sector). Por tanto, si se dispone de planta depuradora, habrá que tener en cuenta cómo afectan las medidas propuestas a ésta, para proceder al reajuste del sistema de tratamiento. En caso de no disponer de planta de tratamiento, o si se trata de una instalación nueva que empieza a funcionar, los resultados de la minimización habrá que tenerlos en cuenta a la hora de diseñar la planta de tratamiento de aguas residuales.

No se puede obviar que las empresas del Sector de Tratamiento de Superficies, al igual que otras empresas medianas y pequeñas en España, tienen ciertas reticencias a llevar a cabo actuaciones medioambientales. Las principales barreras a la minimización son:

- Mentalidad poco partidaria de cambios
- Dificultades para que toda la empresa se sienta implicada
- Impaciencia por obtener resultados rápidos, no lentos y progresivos
- Falta de formación e información medioambiental
- Actitud correctiva ante problemas medioambientales
- Mantienen tecnologías obsoletas y les cuesta asumir los riesgos técnicos de medidas que supongan cambios a este respecto
- Desconocimiento de la legislación medioambiental
- Situación económica ajustada

Con ayuda de guías informativas y manuales la mayoría de estas barreras son superables. En cuanto a los aspectos financieros, las diferentes Administraciones: Autonómicas, Nacional y Comunitaria tienen programas de ayudas a las empresas que implanten medidas de minimización de residuos y emisiones en sus procesos, que contribuyan a la protección del medio ambiente, cambios en los procesos para utilizar tecnologías lim-

pías, realización de auditorías medioambientales, sistemas de gestión medioambiental, formación, etc.; frente a las ayudas al tratamiento al final de línea que se favorecían en tiempos pasados.

Por último, con la mejora medioambiental, las empresas consiguen otros beneficios que hasta el momento no se contemplan en su cuenta de resultados, derivados de la cuantificación económica de los beneficios medioambientales:

- Reducción de los costes de producción por la mejor gestión y mayor eficacia.
- Ahorro de materias primas.
- Reducción de los costes de tratamiento y eliminación de residuos que se dejan de generar.
- Reducción de los costes de permisos, cánones de vertido, controles y sanciones.
- Disminución de la responsabilidad ambiental a largo plazo y los costes de seguros.
- Mejoras de la imagen de la empresa.

Por tanto, la adopción de medidas para generar menos residuos es un factor más de competitividad para las empresas que las lleven a cabo. Así, el aspecto medioambiental se debe tener en cuenta en la estrategia global de la empresa porque así lo exige la legislación, el mercado y la sociedad, puesto que es necesario preservar el medio ambiente para garantizar la obtención de los recursos naturales que nos dan la calidad de vida de la que disfrutamos ahora y el mantenimiento de ésta para las generaciones futuras.

## 7. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE DE LA COMUNIDAD DE MADRID: Auditorías Ambientales en la Comunidad de Madrid. 1993.

ALARCO, R.: Un nuevo sistema de reducción del impacto ambiental en procesos metalúrgicos mediante resinas. Ingeniería Química. Octubre, 1990. Pags. 431-434.

BERMONT, V.: Galvanostegia. Conceptos Básicos y operaciones preliminares al recubrimiento. Ingeniería Química. Octubre y Noviembre, 1992. Pags. 119-123 y 220-223.

BURCKLE, J.: Control de contaminación en galvanoplastia. Cambios en el interior de las plantas. Seminario sobre control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

CENTRO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO: Jornadas sobre Ayudas de la Comunidad Europea a las Empresas. Madrid. Marzo, 1992.

CORDERO GARCÍA, L.: Los residuos tóxicos y peligrosos. Dirección General del Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1982.

CORTADI, J.A.: Algunos aspectos del reciclado de aguas de lavado en los procesos de tratamientos superficiales. Seminario sobre Control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

DE LA SOTA ZUBILLAGA, A.: Tratamiento conjunto de aguas residuales Urbanas e Industriales (Límites de inhibición de los procesos biológicos). Seminario sobre control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

DÍAZ LÁZARO-CARRASCO, J.A.: Normativa Española y Comunitaria en materia de Contaminación del Agua en la Industria de Galvanotecnia.

Seminario sobre Control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

DIRECCIÓN GENERAL DE INNOVACIÓN INDUSTRIAL Y TECNOLOGÍA. MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA: Tecnologías Básicas aplicables a la depuración de los efluentes líquidos de la industria de Galvanoplastia. 1978.

ENZMINGER, J.D.: Metal finishing and processing. Industrial Wastes. Junio, 1993. Pags. 407-409.

ESCUELA DE ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL, DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICA TECNOLÓGICA DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO: Manual MEDIA (Minimización Económica del Impacto Ambiental), 4 vol.. 1993.

FUNDACIÓN ENTORNO. EMPRESA Y MEDIO AMBIENTE. Libro Blanco de la Gestión Medioambiental en la Industria Española. 1998.

IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental): Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones. Recubrimientos Electrolíticos. Marzo, 1997.

IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental): Plan de Minimización y Gestión de Residuos Industriales de la Zona Sur del Urdaibai. 1995.

IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental): Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones. Galvanizado en Caliente. Marzo, 1997.

IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental): Producción Limpia. Tomos 1A, 1B, 2 y 3. 1998.

IHOBE (Sociedad Pública de Gestión Ambiental): Anexo Técnico del Plan de Gestión de Residuos Especiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Monografías de las principales categorías. Subcategoría 1.1.: Residuos con metales procedentes de los procesos galvanicos. Subcategoría 1.2.: Ácidos y álcalis de decapado. Categoría 5.: Residuos de disolventes. Enero, 1993.

INSTITUT CERDÁ: Manual de Minimización de Residuos y Emisiones Industriales. Julio, 1992.

INSTITUT CERDÁ: Proyecto 3R. Estudio de Base 4. Estudios Sectoriales y casos de minimización de residuos y emisiones. Recubrimientos Electrolíticos.

INSTITUTO DE PETROQUÍMICA APLICADA. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA: Desarrollo de una metodología de análisis de la interacción Energía-Medio Ambiente en el Sector Industrial Catalán. Aplicación a la Industria del Tratamiento de Superficies. Barcelona. Septiembre, 1990.

INYPESA, INFORMÉS Y PROYECTOS, S.A. INGENIEROS CONSULTORES: La industria del Tratamiento de Superficies en España. Problemas Medioambientales generados por la misma. Estudio y Evaluación de alternativas técnicas y económicas para su corrección. Secretaría General de Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Marzo, 1990.

IRURETAGOYENA CAPELASTEGUI, J.M.: Aplicaciones de las Técnicas Hidrometalúrgicas en el Tratamiento de las Aguas Residuales Industriales. Seminario sobre Control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

McRAE, G.: Programa de Prevención de la Contaminación: un caso concreto. Seminario sobre control de la Contaminación en Origen en la industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO: Programa Industrial y Tecnológico Medio Ambiental (PITMA). 1991.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES: Residuos Tóxicos y Peligrosos, tratamiento y eliminación (Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas de Agua y Medio Ambiente). 1991.

MORERA DURÁN, J.: Depuración del cianuro en la industria de Tratamiento de Superficies. Ibérica. Marzo, 1993. Pags. 165-166.

MUJAL TASENDE, F.: Tratamiento de agua residual procedente de una línea de cincado y de una línea de fosfatados. Nº 25 Tecnoambiente. Febrero, 1993.

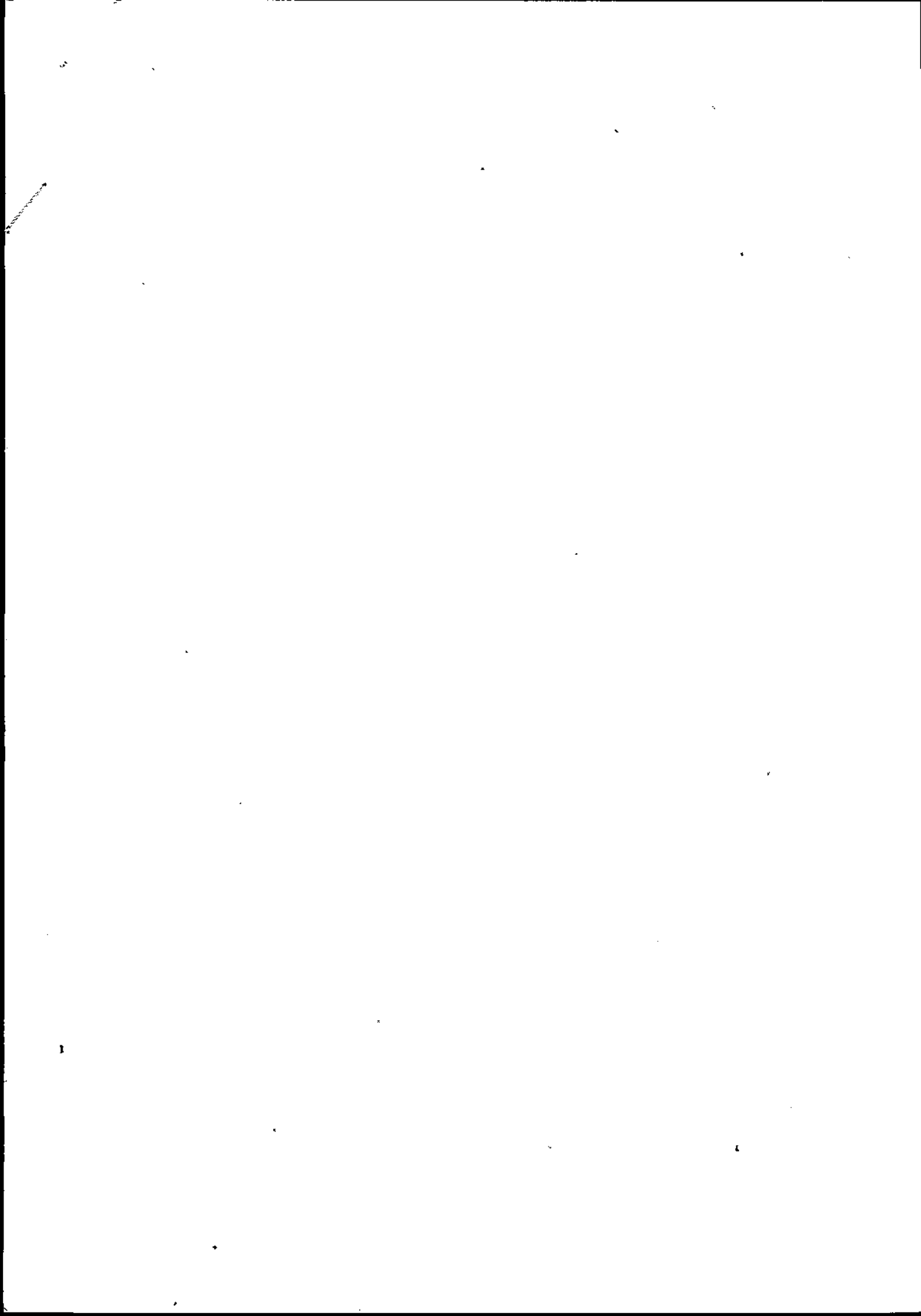
PEÑA MARTÍNEZ, M.A.: Sistemas de recuperación de ácidos y metales en industrias galvánicas, lixiviación de minerales y producción de fertilizantes (I, II y III). Residuos, nº 2, 3, y 4. 1991-92. Pags. 49-51, 43-47 y 45-47.

ROY, PH., CLARENCE, D.: Tecnología de Tratamiento de vertidos en las empresas de Galvanotecnia. Seminario sobre Control de la Contaminación en Origen en la Industria de Galvanotecnia. Bilbao. 23-25 Septiembre, 1987.

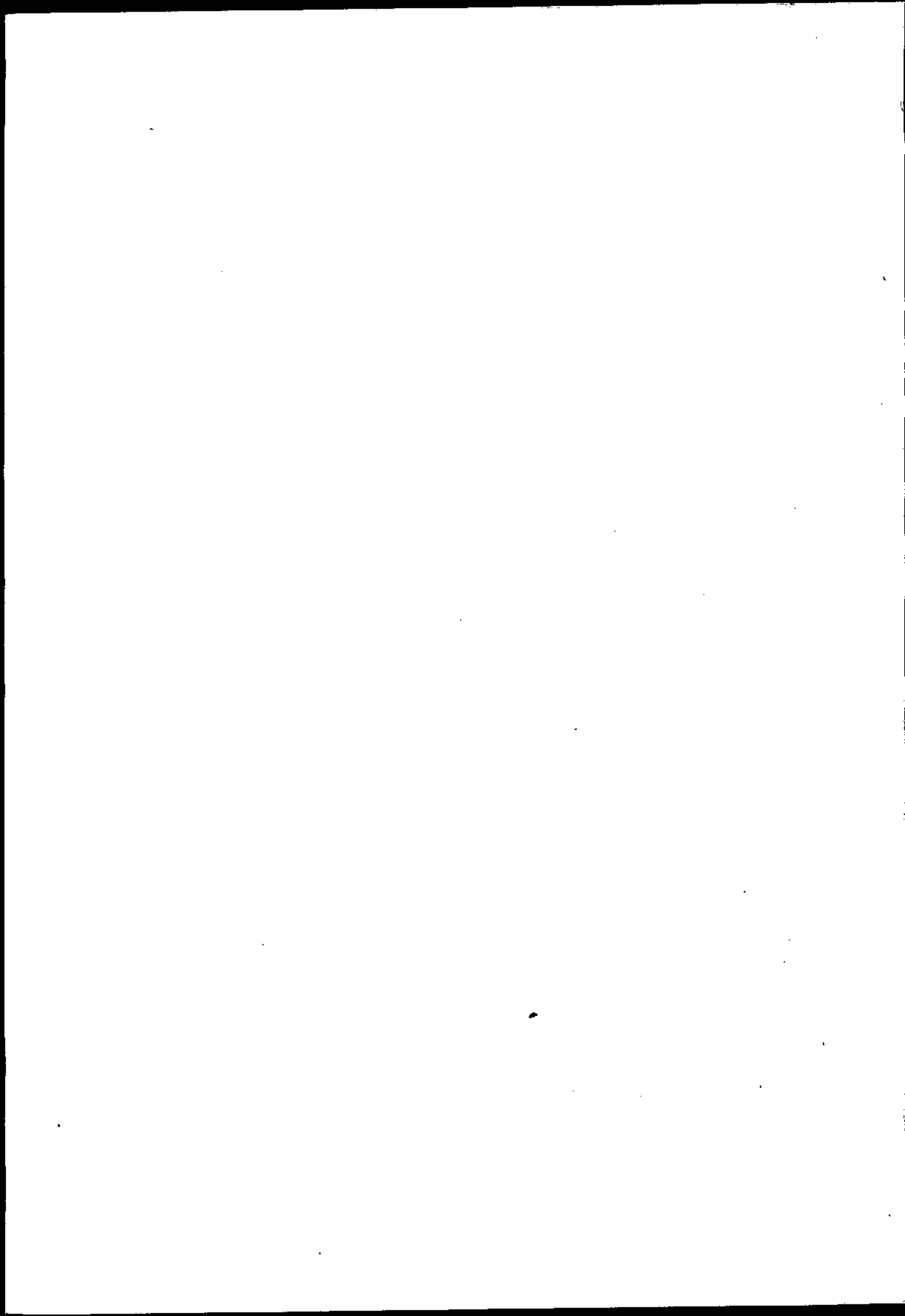
RUIZ, J.L.: La galvanización general en España. Ingeniería Química. Octubre, 1991. Pags. 219-224.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), INDUSTRY AND ENVIRONMENT OFFICE (IEO): *Environment aspects of the metal finishing industry: a technical guide*. 1989.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA): *Environmental Regulations and Technology. The electroplating industry*. Septiembre, 1985.









**EOI** Escuela de  
Organización  
Industrial



Ministerio de Medio Ambiente



**EMGRISA**

Empresa para la Gestión de Residuos Industriales. *Sociedad Estatal.*