



El sector de tractament de superfícies, tant pel que fa als productes que consumeix com als processos que utilitza, és un dels que ofereix un major nombre d'exemples on la incorporació de tecnologies i formes de fer que consideren el medi ambient com a element clau permeten assolir uns productes finals que, mantenint i fins i tot incrementant els seus rendiments i la seva utilitat, generen una menor incidència ambiental al llarg del seu cicle de vida i milloren l'eficiència del producte i de l'empresa.

Aquest manual vol sintetitzar tot un seguit d'alternatives de reducció en origen de la contaminació que permetran a l'industrial conèixer les diferents possibilitats potencialment aplicables al seu cas particular. En un sector amb una forta presència de petites i mitjanes empreses i on cada dia s'evidencien unes majors exigències de qualitat en el producte final, una publicació d'aquestes característiques creiem que pot resultar d'una evident utilitat a l'hora de prendre decisions per part d'empresaris i tècnics.

Com tot manual, aquest no pot arribar més enllà de mostrar tècniques i formes de fer que han provat la seva utilitat i viabilitat en casos reals. Tot i que moltes vegades les recomanacions que conté poden aplicar-se sense més complexitat, en altres casos serà necessària la contribució d'experts per incorporar-les als processos productius, de manera que s'adaptin a les característiques específiques de cada cas.

Una correcta gestió empresarial ha de portar, implícitament, la integració dels conceptes ambientals en el dia a dia de l'empresa, és a dir, fent una gestió empresarial més ecoeficient. Amb la publicació d'aquest manual hem volgut posar a disposició de les empreses del sector de tractament de superfícies una eina que les ajudi en aquest procés de millora.



Unió Europea
Fons Social Europeu



PREVENCIÓ DE LA CONTAMINACIÓ AL SECTOR DE TRACTAMENT DE SUPERFÍCIES

6

d'eco

manuales

gestió

6

Prevenció de la contaminació al sector de tractament de superfícies



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient

Prevenció de la contaminació al sector de tractament de superfícies

Prevenió de la contaminació al sector de tractament de superfícies



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient

BIBLIOTECA DE CATALUNYA. DADES CIP:

Prevençió de la contaminació al sector de tractament de superfícies - (Manuals d'ecogestió ; 6)

Bibliografia

ISBN 84-393-5660-9

I. Catalunya. Departament de Medi Ambient II. Centre per a l'Empresa i el Medi Ambient III. Catalunya. Direcció General de Planificació Ambiental IV. Col·lecció: Manuals d'ecogestió ; 6
1. Superfícies - Tractament - Aspectes ambientals
621.79:504

Prevençió de la contaminació al sector de tractament de superfícies
Manuals d'ecogestió, 6

© Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
<http://www.gencat.es/mediamb/>

Primera edició: febrer de 2002

Tiratge: 1.000 exemplars

Impressió: ALTÉS, SL

Coordinació tècnica: Centre per a l'Empresa i el Medi Ambient, SA

Aquesta publicació ha estat feta amb paper ecològic mat de 125 g
i les cobertes en cartolina ecològica mat de 240 g.

DL: B. 9.973-2002

ISBN: 84-393-5660-9



Sumari

Pròleg	11
1. Introducció i antecedents	13
2. Descripció dels processos de tractament de superfícies	16
2.1 Els banys de preparació de la superfície	16
2.1.1 Pretractament mecànic	16
2.1.2 Decapatge mecànic	17
2.1.3 Desgreixatge químic	17
2.1.4 Desgreixatge per ultrasons	18
2.1.5 Desgreixatge electrolític	18
2.1.6 Activat àcid/decatatge	18
2.2 Els principals processos galvànics	19
2.2.1 Zincat electrolític i passivació	19
2.2.2 Subcapes i acabats	21
2.2.3 Processos de conversió de superfície	25
2.2.4 Electropoliment	27
2.3 Els rentatges	29
2.3.1 Costos derivats del consum desmesurat de l'aigua	29
2.3.2 Relacions entre qualitat de rentatge i la quantitat d'aigua necessària	30
2.3.3 Rentatges simples	31
2.3.4 Rentatges en etapes	32
2.3.5 Rentatges estancs de recuperació	34
2.4 Condicionament d'aigües	35
2.4.1 Tractament previ al procés	35
2.4.2 Tractament posterior al procés: depuració fisicoquímica	36
2.5 Corrents residuals	38
2.5.1 Introducció	38
2.5.2 Corrents residuals generats	39
2.5.3 Resum dels corrents residuals generats	41

3. Les alternatives de prevenció de la contaminació.....	49
3.1 Reducció en origen de la contaminació	50
3.1.1 Canvi de materials. Substitució de matèries primeres	50
3.1.2 Bones pràctiques	55
3.1.2.1 Allargament de la vida dels banys	55
3.1.2.2 Reducció dels arrossegaments	56
3.1.2.3 Millores en les esbandides i els rentatges	62
3.1.2.4 Bones pràctiques genèriques	70
3.2 Reciclatge en origen	78
3.2.1 Recuperació de les matèries primeres	79
3.2.1.1 Desgreixatge	79
3.2.1.2 Decapatge	80
3.2.1.3 Productes d'aportació	81
3.2.2 Reutilització de l'aigua	82
3.2.2.1 Tècnica de <i>skip</i>	82
3.2.2.2 Reciclatge per bescanvi iònic	82
3.2.2.3 Reciclatge per osmosi inversa	84
3.2.3 Recuperació dels arrossegaments	85
3.2.3.1 Electròlisi	85
3.2.3.2 Electrodiàlisi	85
3.2.3.3 Electròlisi-electrodiàlisi	86
3.2.3.4 Osmosi inversa	87
3.2.3.5 Ultrafiltració	87
3.2.3.6 Evaporació	88
3.2.3.7 Bescanvi iònic	89
3.2.3.8 Altres mesures	90
4. Alternatives de tractament. Tractament posterior al procés: depuració fisicoquímica	92
4.1 Trencament de complexos metàl·lics	92
4.2 Oxidació de cianurs	93
4.3 Reducció de crom hexavalent	94
4.4 Coagulació	94
5. Altres aspectes a considerar	96
5.1 Localització del magatzem de productes	96
5.2 Gestió del magatzem	96

5.3	Cubetes de retenció	97
5.4	Alimentació d'aigua	97
5.5	Protecció de conduccions	97
5.6	Disseny de les línies de procés	97
5.7	Transvasament d'efluents	98
5.8	Recollida d'efluents	98
5.9	Ambient de treball	99
5.10	Automatització i programació dels processos	99
6.	Anàlisi de la viabilitat econòmica d'algunes de les alternatives	100
7.	Conclusions	127
8.	Alguns exemples reals per a les alternatives proposades	129
	Bibliografia	130
	Entitats i persones que han col·laborat en l'elaboració d'aquest document	131
	Algun web d'utilitat relacionat amb el projecte	131
	Fotografies sobre alternatives de minimització al sector	132

Pròleg

Davant la necessitat d'incorporar les consideracions ambientals als processos productius, cal que les empreses puguin disposar d'unes eines que permetin analitzar les diferents oportunitats i opcions que els permetin prendre les decisions que combinin de la forma més eficient els aspectes tècnics, econòmics i ambientals. Per posar a l'abast de les empreses del sector del tractament de superfícies elements de coneixement que puguin ajudar aquest procés, aquest manual recull i presenta alternatives adreçades a la reducció en origen corrents residuals, així com altres alternatives de gestió eficaç, complementàries als processos de minimització.

El sector de tractament de superfícies abasta, sota aquesta denominació genèrica, un nombre important d'empreses amb característiques diverses, segons quin sigui el producte final de la seva activitat. Aquesta diversitat resulta determinant a l'hora de formular recomanacions referides a uns processos que, partint d'unes etapes aparentment comunes, es ramifiquen en funció de la superfície a tractar, les matèries emprades o la destinació i condicions requerides del producte final.

Com a conseqüència d'aquesta diversitat ens trobem, per exemple, amb un ventall de primeres matèries i productes químics utilitzats, molts d'ells amb una elevada potencialitat contaminadora, així com uns consums d'aigua importants amb relació a les dimensions de les instal·lacions. També, i com a conseqüència, es generen com a elements residuals quantitats importants de compostos que, si no són gestionats correctament, afegixen un nou element de risc mediambiental. La multiplicitat d'escenaris ha de considerar, com un element més, la molt variable grandària de les empreses, on predominen les petites i mitjanes que conviuen amb d'altres, grans, i amb algunes que tot i no ser específicament del propi sector, disposen i utilitzen en els seus processos instal·lacions de tractament de superfície.

Aquest document vol presentar i posar a l'abast de les empreses amb processos de tractament de superfície, un recull de les oportunitats de prevenció de la contaminació que poden ser implantades amb criteris d'eficiència econòmica i ambiental, amb un especial esment d'aquelles tècniques i pràctiques que la redueixen en origen.

Per a les empreses, assumir els principis de l'ecoeficiència és un camí segur cap a la millora de la seva competitivitat i una via que les ha de portar a assolir l'excel·lència empresarial.

Víctor Macià
*Gerent del Centre per l'Empresa
i el Medi Ambient, SA*

1

Introducció i antecedents

El sector de tractament de superfícies està format per uns subconjunts d'empreses, principalment petites i mitjanes, dedicades a modificar l'estructura inicial d'una superfície —metàlica o no— per oferir-li unes condicions de resistència als agents externs, d'acabat final decoratiu, etc. La utilització de gran varietat de compostos químics, molts dels quals poden ser altament tòxics i contaminants, és una altra de les característiques del sector.

A Catalunya, amb un nombre aproximat d'unes 650 empreses, hom troba preferentment empreses petites, o molt petites (<5 persones), amb una mitjana de treballadors al voltant dels vuit per empresa. Es tracta, fonamentalment, de tallers amb un nivell mitjà-baix de tecnificació, per terme mitjà.

La major activitat del sector la trobem, amb diferència, a la província de Barcelona (80%), sobretot a les comarques que envolten la ciutat de Barcelona; destaca en primer lloc la comarca del Baix Llobregat, amb un 56% del total, seguit pel Vallès Occidental amb un 32%. Les causes que justifiquen aquesta major implantació al voltant de Barcelona les trobem, sobretot, pel fet de situar-se prop dels seus clients, és a dir, d'empreses que els proporcionen les peces per fer-ne el tractament de superfície i, evidentment, al voltant de Barcelona ciutat és on es troba aquesta major concentració industrial.

Un fet important a tenir en compte és la diferent normativa, en matèria mediambiental, entre les diverses comarques, en funció de la destinació final de les aigües residuals abocades per l'empresa. Això produeix una situació heterogènia dins de Catalunya: hi ha comarques —i, fins i tot, municipis dins de la mateixa comarca— amb normatives ambientals diferents i amb, el que és més important, diferents graus d'exigència ambiental. No és el mateix, per exemple, abocar directament o indirectament a mar o a riu, com és el cas de certs municipis del Baix Llobregat (com ara l'Hospitalet de Llobregat, Cornellà de Llobregat, el Prat de Llobregat, entre d'altres), en els quals la normativa aplicable en matèria d'aigües residuals és la Ley de Aguas i el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que abocar a una estació depuradora d'aigües residuals gestionada per l'Entitat del Medi Ambient de l'Àrea Metropolitana de Barcelona o pel Consorci per a la Defensa de la Conca del riu Besòs, ja que els límits aplicables, per posar-ne un exemple, poden duplicar-se o, fins i tot, superar aquest factor. A la taula següent, s'adjunten uns exemples

representatius per al sector de tractaments¹ de superfície amb diferents valors límits, en funció de la destinació final de l'abocament d'aigües residuals i de l'organisme competent en aquesta matèria.

Taula 1

Límits d'abocament segons l'organisme competent				
Paràmetres	Unitats	Agència Catalana de l'Aigua (Taula III de RDPH)	Entitat del Medi Ambient (AMB)	ConSORCI Defensa Conca Besòs
pH	u. pH	5,5-9,5	5-11	6-10
conductivitat	μ S/cm	no legislat	6.000	5.000
crom hexavalent	mg/l	0,2	1	0,5
crom total	mg/l	no legislat	10	5
cianurs totals	mg/l	0,5	10	5
níquel	mg/l	2	10	5
coure	mg/l	0,2	5	3
zenc	mg/l	3	10	10
ferro	mg/l	2	20	20
alumini	mg/l	1	30	20

Aquest aspecte és important en el procés d'implantació d'estructures i recursos de prevenció en origen de la contaminació a les empreses ja que, com veurem més endavant, certes tecnologies de minimització, per citar-ne un exemple, poden afavorir l'estalvi d'aigua a la indústria i alhora incrementar la concentració d'alguns paràmetres legiscats; tal és el cas dels equips de reciclatge d'aigua mitjançant resines de bescanvi iònic i la major conductivitat de l'efluent generat per l'empresa; mentre que el Reglamento del Dominio Público Hidráulico no diu res respecte d'aquest paràmetre i, en el cas d'abocaments a mar, no té massa importància un efluent amb major salinitat, a les empreses que aboquen a depuradores de l'Àrea Metropolitana o del Consorci del Besòs, una major conductivitat pot suposar un problema per a l'empresa, que fins i tot pot arribar a l'extrem d'haver de consumir més aigua en el procés productiu pel que fa reduir la conductivitat de l'aigua abocada.

L'industrial del tractament de superfícies, com la resta d'empresaris, té com a principal preocupació assolir i mantenir la competitivitat de la seva empresa. En molts casos, la lluita contra la contaminació sembla que dificulti l'obtenció d'aquest objectiu vital per a ell. Però, més enllà

¹ A títol de referència s'inclou només aquesta taula, malgrat que no s'aplica en tots els casos. D'acord amb l'article 251 del RDPH, en les autoritzacions d'abocament es concreten els límits qualitius de l'abocament.

de les aparences, l'empresari es troba amb una alternativa que pot permetre ser competitiu millorant alhora el seu comportament mediambiental. Molt sovint dins d'aquest sector, l'origen de la contaminació el tenim en l'ús indiscriminat de les primeres matèries i l'aigua i en unes pràctiques professionals poc adequades.

La racionalització en els consums i les millores en les operacions internes contribueixen, quasi sempre, a fer l'empresa més competitiva i, molt sovint, per a sorpresa de l'industrial, a reduir la generació de corrents residuals, cosa que afavoreix un apropament més racional cap a la lluita contra aquesta. Els corrents residuals costen cars a l'industrial quan l'ha de tractar, però és especialment cara per a tots, quan aquest no la tracta a causa del fenomen d'externalització de costos. Cal, per tant, prioritzar aquelles actuacions que evitin la generació de contaminants. "El millor residu és el que no es genera" o "no és més net el que més neteja sinó el que menys embruta" són dites que valen or en el sector de tractament de superfícies.

2

Descripció dels processos de tractament de superfícies

2.1 Els banys de preparació de la superfície

En tot procés galvànic, abans de procedir al recobriment superficial de la peça, es requereix un tractament previ de preparació de la superfície per eliminar totes les restes de greix i d'òxids que aquella conté. En general, aquestes restes vénen amb la peça i es generen en el seu tractament de conformació mecànica.

Igualment, les peces poden sofrir un poliment mecànic per millorar el seu estat superficial; d'aquesta forma s'elimina també qualsevol greix que hi pogués restar.

Són molt variats els sistemes de preparació de la peça, segons el material de base i la naturalesa de les restes a eliminar. Entre aquests, els més freqüents són:

- pretractament mecànic,
- decapatge mecànic,
- desgreixatge químic,
- desgreixatge amb ultrasons,
- desgreixatge electrolític,
- activat àcid/decatatge.

2.1.1 *Pretractament mecànic*

El pretractament és la preparació de les peces per al seu posterior procés galvànic. Habitualment, el pretractament es classifica en dos grups: preliminar i final.

El pretractament preliminar consisteix a eliminar mecànicament elements bruts i residuals presents a la superfície de les peces, com restes de pastes de polir, pols, greix, gotes d'olis, clapes d'òxid, etc. Encara que aquesta fase pot formar part del propi procés productiu, normalment es considera previ a aquest.

El pretractament final elimina amb mitjans mecànics només les últimes restes grosses d'olis i greix, i condiciona la peça per al procés galvànic pròpiament dit.

En qualsevol cicle de pretractament en el qual les peces a tractar presenten tan restes d'olis com d'òxid, és una bona pràctica eliminar mecànicament aquests contaminants, abans d'introduir les peces directament en la línia de procés, ja que facilitarà l'eliminació més uniforme d'olis i òxids, posteriorment.

2.1.2 Decapatge mecànic

Consisteix a projectar a gran velocitat, mitjançant aire comprimit, un material agressiu en estat sòlid (sorra de sílice, escòries, granalla d'acer, etc.) sobre la superfície en qüestió. Amb aquest sistema, es van eliminant les capes d'impureses que es troben adherides a la superfície a tractar. El material agressiu que s'utilitza depèn de diferents factors com són el rendiment del producte, la possibilitat de recuperació, l'aspecte desitjat de l'acabat i del material de base de la peça.

2.1.3 Desgreixatge químic

En aquest cas, es procedeix a la immersió de la superfície a tractar en una solució química, durant un temps prefixat, emprant dissolvents, detergents o per electròlisi.

En el *desgreixatge amb dissolvents*, aquests són utilitzats tant en fase vapor com en fred. Eliminen els greixos, les pintures i els vernissos.

En fase vapor, s'utilitzen normalment dissolvents clorats, els quals es fan evaporar en el bany per produir els vapors dissolvents.

A continuació, citem els dissolvents més utilitzats actualment per portar a terme el desgreixatge:

- tricloroetà, tricloroetilè i percloroetilè,
- clorur de metilè,
- triclorofluoretà,
- cloroform, com a bàsics.

En el cas d'utilització del desgreixatge amb dissolvents en fred, es fan servir els mateixos compostos, però s'apliquen per immersió.

En el *desgreixatge químic amb detergents* (comercials), s'aconsegueix eliminar qualsevol tipus de greix gràcies a la presència d'elements tensoactius que disminueixen la tensió superficial del bany i que s'afegeixen a una solució alcalina. Es tracta d'un sistema molt emprat a Catalunya.

En els medis alcalins utilitzats per desgreixar les peces es pot trobar la formulació següent:

- sosa càustica 40 g/l
- carbonat sòdic 25 g/l
- fosfat trisòdic $12 \cdot H_2O$ 10 g/l
- metasilicat sòdic $5 \cdot H_2O$ 10 g/l
- humectants 2-5 g/l
- complexants metàl·lics variable

En aquest medi, les condicions òptimes de treball són les següents:

- pH 12-14
- temperatura 60-90 °C

Per altra banda, per afavorir l'efecte mecànic de la neteja, normalment s'utilitza algun mecanisme d'agitació del medi, com l'aire, per exemple.

2.1.4 Desgreixatge per ultrasons

Aquest sistema consisteix a un medi químic com l'anterior, al qual s'afegeix un mecanisme generador d'ultrasons que crea un efecte d'impacte sobre la superfície de la peça i col·labora en la seva neteja mecànica.

2.1.5 Desgreixatge electrolític

És també un dels sistemes més utilitzats a Catalunya i consisteix a sotmetre les peces, actuant com a càtodes, a l'acció d'una solució alcalina. Els greixos saponificables són atacats i saponificats per l'acció de la solució alcalina, i l'hidrogen originat en l'electròlisi sobre el càtode afavoreix l'alliberament dels greixos de la peça. Amb aquest sistema, també es desprenen els òxids metàl·lics per la seva reducció a través de l'hidrogen.

La formulació bàsica del medi és la següent:

- sosa càustica 50-60 g/l
- fosfat trisòdic $12 \cdot H_2O$ 10-20 g/l
- gluconat sòdic 10-30 g/l

En aquest cas, les condicions de treball més freqüents són les següents:

- pH 12-14
- temperatura 80 °C
- densitat de corrent 5-10 Amp/dm²

2.1.6 Activat àcid/decapatge

En aquesta operació s'eliminen sobretot els òxids metàl·lics de la superfície a recobrir.

Segons el tipus d'òxid a eliminar, s'utilitzen banys àcids en fred, o en calent.

Entre els principals compostos que s'utilitzen es poden destacar:

- àcid clorhídric,
- àcid sulfúric,
- agents inhibidors.

També s'ha observat la utilització d'ambdós àcids barrejats, encara que alguns activadors especials de metalls utilitzen el bifluorur amònic (F_2HNNH_4) com a substància d'activació.

Després del decapatge, la superfície conté productes químics que es generen per l'acció dels àcids sobre els òxids. A continuació, per tant, s'eliminen aquests productes mitjançant la seva neutralització i posterior rentatge amb aigua corrent.

2.2 Els principals processos galvànics

Després de la neteja completa de la superfície a recobrir de qualsevol tipus de greix o òxid metàl·lic, se la sotmet a un procés d'electrodeposició amb un material que li dona les propietats anticorrosives i decoratives desitjades.

Segons el material a recobrir i les característiques finals que es pretenen del recobriment, s'utilitzen diferents tècniques i materials. Veurem, tot seguit, els principals processos de tractament que es porten a terme a Catalunya.

En el cas dels recobriments electrolítics, el mecanisme de recobriment consisteix a submergir la superfície a recobrir, prèviament neta per algun dels procediments citats anteriorment, en un electròlit adequat, que posseeix els ions del metall a dipositar; la peça a recobrir constitueix el càtode de la cubeta electrolítica. Per altra banda, l'ànode està format per barres de gran puresa del metall de deposició, la missió del qual és mantenir constant la concentració dels ions metàl·lics a l'electròlit.

El gruix del recobriment es regula per variació de la intensitat del corrent emprat i del temps que dura el procés. Cal indicar, així mateix, la presència d'agents diversos —humectants, abrillantadors, complexants, etc...— que, amb diverses funcions, formen també part del bany.

Dins del sector d'indústries d'acabat de superfícies a Catalunya es poden trobar, principalment, els processos industrials que es descriuen a continuació.

2.2.1 Zincat electrolític i passivació

Aquest tipus de procés és un dels més difosos entre les empreses de tractament de superfícies i, possiblement, es converteixi en un dels recobriments més utilitzats per a la protecció del ferro, donades les seves característiques anticorrosives i decoratives.

Hi ha en l'actualitat tres formes bàsiques de dipositar el zenc per via electrolítica:

- zenc àcid,
- zenc alcalí,
- zenc cianurat.

El procés de *zenc àcid* no és, avui en dia, el procés de zincat més emprat. Aquest metall és químicament actiu i es veu atacat pels àcids diluïts, encara que ho fa lentament quan l'àcid és concentrat. En alguns casos això provoca una dificultat a l'hora de controlar els paràmetres

del bany de procés. La solució àcida està formada principalment per sulfat o clorur de zinc, clorur sòdic o potàssic, àcid bòric, com a principals. Així doncs, les formulacions àcides són d'aquesta forma:

- clorur de zinc 62-85 g/l
- clorur potàssic 186-255 g/l
- àcid bòric 30-38 g/l
- humectants 60-90 g/l
- abrillantadors 0,5-1 g/l

Les condicions de treball en aquesta formulació són les següents:

- temperatura 21-35 °C
- densitat de corrent 1-4 Amp/dm²
- tensió 1-18 V
- pH 4,8-5,4

Més utilitzada que l'anterior és la *solució de zinc alcalina*. En aquest cas, el zinc reacciona amb els àlcals donant zincats solubles, segons la reacció següent, en què també s'allibera hidrogen:



En aquest cas, la formulació bàsica més trobada és la següent:

- òxid de zinc 9,5 g/l
- hidròxid sòdic 90-120 g/l
- abrillantadors 10-50 ml/l

Les condicions de treball en aquest cas són:

- temperatura 20-30 °C
- densitat de corrent catòdic 2-4 Amp/dm²
- voltatge 2-15 V

El darrer tipus de zincat, cada cop menys usat que el zincat àcid i alcalí, és el de *zincat cianurat*, en forma alcalina, que es basa en la reacció següent:



Les formulacions bàsiques depenen fonamentalment de la concentració de cianur sòdic, variant de la manera següent:

Taula 2 (valors en g/l)

Típus de bany	Alt cont.	Cont. Mitjà	Baix cont.
Cianur de zenc	60	30	10
Cianur sòdic	42	20	7,5
Sosa càustica	80	75	65
Polisulfur sòdic	2	2	-
Abrillantadors	1-3	1-4	1-5

Quant a les condicions de treball, les més usals són les següents:

- temperatura 20-30 °C
- densitat de corrent catòdic 2-6 Amp/dm²
- voltatge 2-15 V

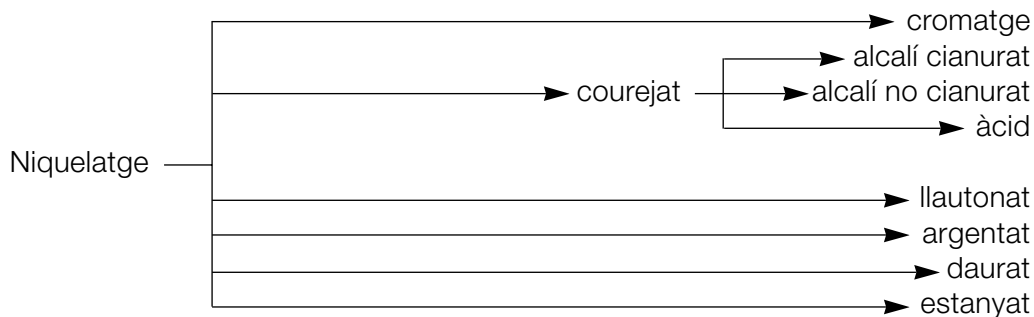
Un cop s'ha realitzat el procés de zincat de les peces, per incrementar la seva resistència a la corrosió, se les sotmet a un *procés de passivació cròmica o cromatitzat*. Aquesta passivació pot ser de quatre tipus:

- passivació blava (resistència a la corrosió baixa),
- passivació verda (alta resistència a la corrosió),
- passivació groga (resistència a la corrosió similar a l'anterior),
- passivació negra (resistència de tipus mitjà).

Fins ara es continua utilitzant el crom hexavalent en les formulacions per a la passivació.

2.2.2 Subcapes i acabats

El sector de tractaments de superfície duu a terme un gran nombre d'acabats anticorrosius i decoratius. En bona part d'ells, previ a l'acabat final, hom troba una subcapa de níquel que afavoreix la resistència a la corrosió i la posterior electrodeposició del metall que oferirà l'acabat final. A l'esquema següent es resumeixen els principals banys de subcapes i acabats:



Per tant, com veiem, el níquelatge electrolític s'utilitza en gran nombre de casos com a base per recobrir amb d'altres metalls, com són:

- crom,
- or,
- argent,
- llautó, entre d'altres.

Aquest tipus de procés és el que s'anomena general.

El procés de *níquelatge* s'utilitza normalment com a subcapa per tractar:

- ferro,
- alumini i les seves aleacions,
- llautó,
- coure,
- zinc i les seves aleacions.

En alguns casos particulars, les peces són acabades amb un recobriments de níquel químic de característiques específiques (duresa, lubricació, etc.).

Donat que les reaccions que es produeixen en el níquelatge químic són catalítiques, és a dir, les inicia el mateix material a recobrir, és molt important en aquest tipus de recobriments aconseguir una bona adherència i, per tant, netejar molt bé les peces a tractar.

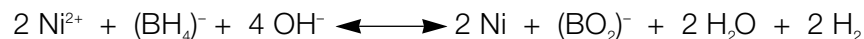
La formulació bàsica trobada és:

- sulfat de níquel $7 \cdot H_2O$ 250-350 g/l
- clorur de níquel $6 \cdot H_2O$ 60-90 g/l
- àcid bòric 30-60 g/l
- abrillantadors 20-30 g/l
- humectants 2-5 g/l

Amb aquestes matèries primeres, les condicions de treball requerides són les següents:

- temperatura 50-65 °C
- densitat de corrent 1-10 Amp/dm²
- pH 4-5
- tensió 1-16 V

La reacció general que té lloc per a la deposició del níquel és la següent:



Com ja s'ha comentat, el níquelatge electrolític s'empra en molts casos com a base per afavorir la deposició d'un altre metall (crom, principalment).

En els *banys de crom* estudiats, com a matèries primeres d'ús més generalitzat es poden destacar:

- triòxid de crom 150-400 g/l
- àcid sulfúric 2,5-4 g/l
- catalitzadors 0,5-1 g/l

Les condicions de treball seguides són:

- temperatura 40-50 °C
- densitat de corrent 5-55 Amp/dm²
- ànodes insolubles 93% Pb, 7% Sn

El bany de *coure* és també bastant utilitzat dins del sector. La formulació del bany és variada i es pot classificar segons:

- coure alcalí cianurat,
- coure alcalí sense cianurs,
- coure àcid amb àcid sulfúric,
- coure àcid amb àcid bòric.

Per al coure alcalí cianurat, la composició és:

- cianur de coure 22,5 g/l
- cianur sòdic 34,0 g/l
- carbonat sòdic 15,0 g/l
- hidròxid sòdic control de pH

Respecte a les condicions de treball, són aquestes:

- temperatura 32-43 °C
- densitat de corrent 10-15 Amp/dm²
- pH 12-12,6
- ànodes coure i acer

S'utilitza per a gruixos fins sobre tot tipus de metalls de base i actua com a capa de base per a noves capes d'altres tipus de bany de coure. Per aquest motiu, està molt estès el seu ús. Existeix també una versió d'alta concentració, que arriba als 120 g/l de cianur de coure i 135 g/l de cianur sòdic.

El bany de coure alcalí sense cianurs té la composició següent:

- pirofosfat de coure 345,0 g/l
- hidròxid potàssic 18,0 g/l
- amoni (29%) 1 ml/l

Respecte a les condicions de treball del bany, són aquestes:

- temperatura 43-60 °C
- pH 8,2-9,2
- densitat de corrent 1-7,5 Amp/dm²
- ànodes coure

És una subcapa per a banys de níquel brillant i crom. S'aplica sobre qualsevol metall que presenti un capa de coure. També s'utilitza en circuits impresos.

Per al cas del coure àcid amb àcid sulfúric, la composició del bany està formada per:

- sulfat de coure 195-248 g/l
- àcid sulfúric 30-75 g/l

Respecte a les condicions de treball, són aquestes:

- temperatura 21-49 °C
- densitat de corrent 2-10 Amp/dm²
- ànodes coure

És un bany aplicable a sobre de qualsevol metall ferrès amb base prèvia de coure; també es pot utilitzar com a recobriment sota banys de níquel-crom, per oferir més resistència a la corrosió. S'utilitza molt en la fabricació de circuits impresos, ja que s'aconsegueixen capes molt fines de recobriment, encara que també permet recobriments gruixuts.

Respecte al bany de coure àcid amb àcid bòric, la composició és la següent:

- fluorat de coure 225,0 g/l
- àcid fluobòric control de pH

Condicions de treball:

- pH 0,8-1,7
- temperatura 27-77 °C
- densitat de corrent 7,5-12,5 Amp/dm²
- ànodes coure

Es tracta d'un procés que pot oferir qualsevol tipus de gruix a les peces de qualsevol metall base que tingui una base de coure. Utilitzat també en la confecció de circuits impresos.

Un altre tipus de recobriment que utilitza el níquel com a base és el de *bany de llautó*. En aquest cas, la formulació més emprada és la següent:

- cianur de coure 60-75 g/l
- cianur de zenc 8-30 g/l
- cianur sòdic 130-150 g/l
- sosa càustica 3-4 g/l
- amoníac 1-5 g/l
- abrillantadors 1-10 g/l

En aquest procés, les condicions de treball són:

- temperatura 40-60 °C
- pH 9,5-11,5
- densitat de corrent 0,5-2 Amp/dm²
- ànodes Cu-Zn 80% Cu, 20% Zn

Un altre bany que necessita un primer tractament amb níquel és el *d'argent*. La formulació en aquest procés és:

- cianur d'argent 30-40 g/l
- cianur potàssic 160-200 g/l
- abrillantadors 0,1-10 g/l

i les condicions de treball són:

- temperatura 22-30 °C
- densitat de corrent 0,5-2 Amp/dm²
- ànodes argent (99,99%)

Finalment un darrer procés, molt comú, que també necessita una primera capa de níquel, és el *bany d'or*. En aquest cas, la formulació emprada és la següent:

- cianur doble d'or i potassi 0,5-2 g/l
- fosfat disòdic 10-20 g/l
- abrillantadors 1-5 g/l

Les condicions de treball més utilitzades són les següents:

- temperatura 50-70 °C
- pH 11-12
- densitat de corrent 0,2-0,6 Amp/dm²
- ànodes titani platinitzat (inerts)

Dins d'aquest tipus de tractaments generals, cal esmentar el procés de recobriment amb *estany per bany electrolític* en el qual intervenen l'estannat sòdic, acetat sòdic, sosa càustica, perborat sòdic i aigua. La temperatura de treball és de 70 °C.

Bàsicament, el procés té lloc perquè el perborat sòdic oxida l'ió estannat a estànnic.

2.2.3 Processos de conversió de superfície

En aquest grup de processos de recobriment, s'efectua una reacció química amb el metall de base.

Els processos industrials més importants trobats són dos:

- *fosfatació i pavonatge*, en el cas del ferro i de l'acer,
- *anodització de l'alumini* i les seves aleacions.

La *fosfatació* consisteix a la formació de capes de fosfats sobre la superfície del metall a tractar. A més de protegir contra la corrosió, aquest procés facilita el treball mecànic dels metalls tractats.

El procés de fosfatació s'aconsegueix introduint la peça a recobrir en una solució diluïda d'àcid fosfòric, el qual reacciona amb el ferro segons la reacció:



Per la seva banda, el *pavonatge* consisteix, en essència, en l'oxidació de la superfície controlant el procés de manera que es formi òxid fèrric que, donada la seva compacitat, protegeixi el ferro.

Aquesta oxidació s'aconsegueix de diverses maneres:

- electrolíticament (oxidació anòdica), amb una solució d'aigua amb hiposulfit;
- químicament (oxidació alcalina), amb hidròxid de sodi i nitrat sòdic o potàssic;
- químicament també (bany de sals), amb un bany format per una mescla de nitrats de sodi i potassi, als quals s'afegeix diòxid de manganès.

D'altra banda, també existeix el procés *d'anodització de l'alumini*. L'oxidació anòdica de l'alumini pot considerar-se un procés de passivació accelerada mitjançant el pas del corrent continu. En realitat, es tracta de la seva oxidació per electròlisi fent actuar com un ànode la peça a tractar. És una aplicació molt important que, en la majoria dels casos, serveix per a la protecció de peces d'alumini destinades a la construcció.

El mecanisme que té lloc és el següent: quan el corrent elèctric passa a través de l'electròlit, on les peces de l'alumini a oxidar fan d'ànode, es forma una capa d'òxid d'alumini (alúmina) que va creixent a poc a poc, fins a arribar a gruixos de l'ordre de 25-60 micres.

Durant aquest procés d'oxidació, l'oxigen que es forma a l'ànode és el que va oxidant l'alumini. A causa de l'excessiva calor despresada durant l'oxidació, es deshidrata i forma l'òxid d'alumini (capa d'alúmina).

En aquest cas, a diferència dels altres processos, el tractament que s'ha de donar a l'alumini és el següent:

- desgreixatge químic,
- rentatge,
- setinatge alumini (alcalí),
- rentatge,
- decapatge àcid nítric,
- rentatge,
- anoditzatge d'àcid sulfúric,
- rentatge,
- coloració,
- rentatge,
- segellat amb aigua calenta.

Per fer el desgreixatge químic, la formulació més emprada la següent:

- carbonat sòdic 40 g/l
- metasilicat sòdic 20 g/l

- gluconat sòdic 10 g/l
- fosfat disòdic 20 g/l
- humectants 1-5 g/l

Per la seva banda, per fer el procés de setinatge de l'alumini, la formulació bàsica és:

- sosa càustica 50-60 g/l
- gluconat sòdic 20-30 g/l
- humectants 1-5 g/l

En el decapatge amb àcid nítric, la formulació és:

- àcid nítric 500 ml
- aigua 500 ml

La temperatura de treball en aquest cas és l'ambient.

Quant al procés d'anodització pròpiament dit, hi ha diferents tipus d'electròlits que són utilitzats en l'oxidació anòdica, encara que el més important és l'àcid sulfúric a un 20% en pes.

Les condicions de treball trobades són:

- temperatura 21-23 °C
- densitat de corrent anòdica 0,5-1,5 Amp/dm²

Com que en el tractament anòdic de l'alumini, l'àcid sulfúric ataca la seva superfície dissolent-la parcialment, quan la concentració d'alumini en el medi arriba a un valor concret, s'ha de procedir a la dilució de l'electròlit.

En algun cas s'ha de procedir a la coloració de l'alumini mitjançant la utilització de colorants adequats, tant orgànics com inorgànics. La concentració de cada colorant depèn de cada cas.

També les condicions de treball depenen de cada colorant en concret, així com del grau d'intensitat d'absorció demanada.

Finalment, en el procés de segellat s'utilitza aigua destil·lada a 98 °C, per hidratar la capa d'alúmina.

Per acabar amb l'estudi dels processos galvànics realitzats, es descriu, a continuació, el procés d'electropoliment.

2.2.4 Electropoliment

El poliment electrolític consisteix a dissoldre, de manera preferencial, una part molt petita de la peça, per aconseguir una brillantor mirall de l'acer inoxidable.

La peça actua com a ànode, en una cubeta que conté àcids concentrats calents.

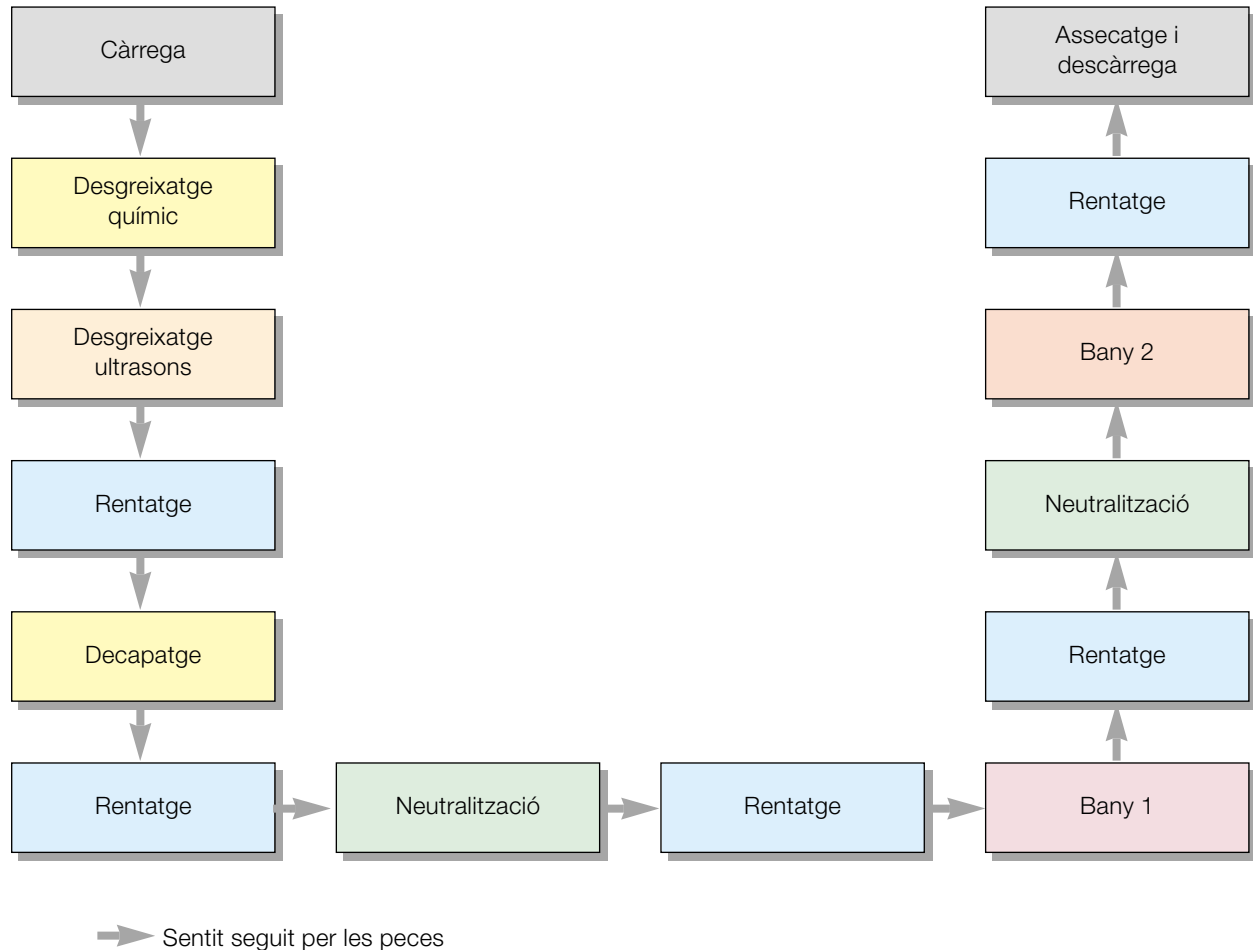
En aquest cas, la composició de l'electròlit és la següent:

- àcid fosfòric 90% (pes)
- àcid sulfúric 10% (pes)
- glicerina 1% (pes)

Així, les condicions de treball són aquestes:

- temperatura 80-90 °C
- temps 2-3 minuts
- densitat del corrent anòdic 10-50 Amp/dm²

Un cop descrits els principals processos que formen una línia galvànica, en l'esquema següent es mostra la seqüència d'una línia teòrica:



2.3 Els rentatges

L'operació de rentatge és fonamental en els processos de recobriments galvànics. El cabal d'aigua necessari per efectuar correctament el rentatge de les superfícies tractades és un paràmetre que, normalment, determina les dimensions dels sistemes de gestió i els tractaments posteriors de les aigües residuals generades.

Aquest cabal depèn de molts factors i, segons com hagi estat dissenyada la planta galvànica, pot ser molt superior al mínim necessari. Aquest és, per desgràcia, un cas molt habitual.

És, per tant, cabdal que el sistema de rentatge escollit permeti obtenir la qualitat de rentatge necessària amb el mínim consum d'aigua, fet que, per altra banda, també implica una reducció del cabal de les aigües residuals.

Un dels factors que més influeixen en els cabals de rentatge és l'arrossegament. Aquest, per la seva banda, pot venir condicionat per la forma i rugositat superficial de la peça, per la viscositat de la solució de procés, etc.

2.3.1 Costos derivats del consum desmesurat de l'aigua

L'industrial del sector de tractaments de superfície ha de tenir en compte que, al preu del cost de l'aigua es poden afegir d'altres costos, segons les necessitats d'adequar l'abocament d'aigües residuals a la normativa aplicable. Entre aquests costos, es poden destacar els següents com a més significatius:

1. Impostos (cànon i taxes). A més, cal tenir en compte que molts d'ells són progressius, és a dir, com més consum d'aigua, més es grava amb l'impost.
2. Despeses de distribució dins la fàbrica.
3. Cost de manteniment d'instal·lacions de subministrament.
4. Energia de bombes i supressors per transvasar-la o agitar-la.
5. Inversió en tractaments de condicionament de les seves característiques (dessalinitzadors, descalcificadors, etc.).
6. Inversió en recollida d'efluents contaminats.
7. Cost de manteniment d'instal·lacions d'evacuació.
8. Inversió en tractaments de descontaminació (depuració fisicoquímica).
9. Costos operatius de descontaminació (personal, energia, reactius, recanvis, gestió de fangs, etc.).

Reduir el consum d'aigua condueix a disminuir tots o part d'aquests diferents costos de l'empresa.

L'experiència constata que la racionalització de la gestió de l'aigua —i per extensió de les matèries— al taller de tractaments de superfície porta simultàniament a la millora en els circuits de producció, a limitar els temps morts, a reduir el deteriorament de l'ambient de treball i la desgana dels operaris, i a millorar, conseqüentment, la qualitat del producte i la productivitat de l'empresa.

D'aquesta manera, podem establir per al sector els objectius següents amb relació al consum d'aigua:

1. Segons la superfície tractada, es considera acceptable un consum màxim d'aigua d'uns 8 l/m², per a cada posició de rentatge.
2. Reduir, de forma òptima, el consum d'aigua per a una mateixa raó de dilució, o millorar la qualitat del rentatge sense augmentar el consum d'aigua.

2.3.2 *Relacions entre la qualitat del rentatge i la quantitat d'aigua necessària*

Quan l'operari d'un taller de tractaments de superfície treu una peça d'una cuba de la línia de procés, tant la peça com el seu suport s'enduen part de la solució aquosa on eren immersos: en sortir mullats es troben recoberts d'una fina pel·lícula del líquid de la cuba. Aquest volum de líquid és el que s'anomena *arrossegament*, que es correspon amb un cabal (*q*), habitualment en litres per hora (l/h) o superfície tractada (l/dm²). D'aquesta forma, transferim d'una cuba a una altra part del líquid de la cuba anterior, "contaminant-la".

Per evitar contaminacions creuades entre cubes de procés, cal rentar la peça i el seu suport. En arribar a aquest punt, trobem un altre concepte fonamental dins del sector —i, freqüentment oblidat o desconegut pel propi industrial— que és la *raó de dilució* (*Rd*). Aquest concepte mesura la qualitat del rentatge en qüestió i, per definició, s'ha d'establir cas per cas.

Siguin els paràmetres següents:

Co = concentració inicial del bany

Cr = concentració mitjana del bany a l'aigua de rentatge

q = arrossegament (l/h)

Q = cabal d'aigua de rentatge (l/h)

Rd = raó de dilució (qualitat del rentatge)

Les relacions existents entre ells són les següents:

$$\mathbf{Rd = Co / Cr = Q / q}$$

D'aquesta manera, un cop fixada la qualitat del rentatge en qüestió (*Rd*) i coneixent l'arrossegament (*q*) derivat de la seva producció, l'industrial podrà determinar el cabal d'aigua de rentatge necessari per a cada posició de rentatge.²

² Per determinar la concentració màxima permissiva de l'aigua de la cuba de rentatge es pot prendre la concentració d'algun element que pugui posar en perill la qualitat del rentatge; per exemple, en un rentatge final seria suficient en determinar la concentració en Cl⁻ o, sovint, es pren com a referència el producte característic del bany (Ni, Zn, CN⁻, etc.).

La qüestió bàsica és que l'arrossegament ha de ser eliminat per un cabal d'aigua de rentatge que eviti la concentració en sals del rentatge. Per tant, si tenim que q és el cabal d'arrossegament i Q és el cabal de rentatge:

- $q Co$ és la quantitat de productes que entren en el rentatge i,
- $Q Cr$ és la quantitat evacuada pel rentatge.

Per tant, tenim que:

$$q Co = Q Cr$$

És a dir:

$$Q = q Co / Cr = q Rd$$

Q (cabal de rentatge) = q (arrossegament produït) Rd (raó de dilució o qualitat del rentatge).

La conseqüència que es deriva de tot això és que *augmentar el cabal de rentatge no és l'únic mitjà disponible per millorar la qualitat de rentatge*. Podem assolir un alt nivell de qualitat de rentatge (Rd alt) per:

- disminució del cabal d'arrossegament (q);
- disminució del cabal de rentatge amb la modificació de l'estructura del rentatge.

Alguns exemples estàndars de qualitat de rentatge (Rd) extrets de la bibliografia es detallen en la taula següent:

Taula 3

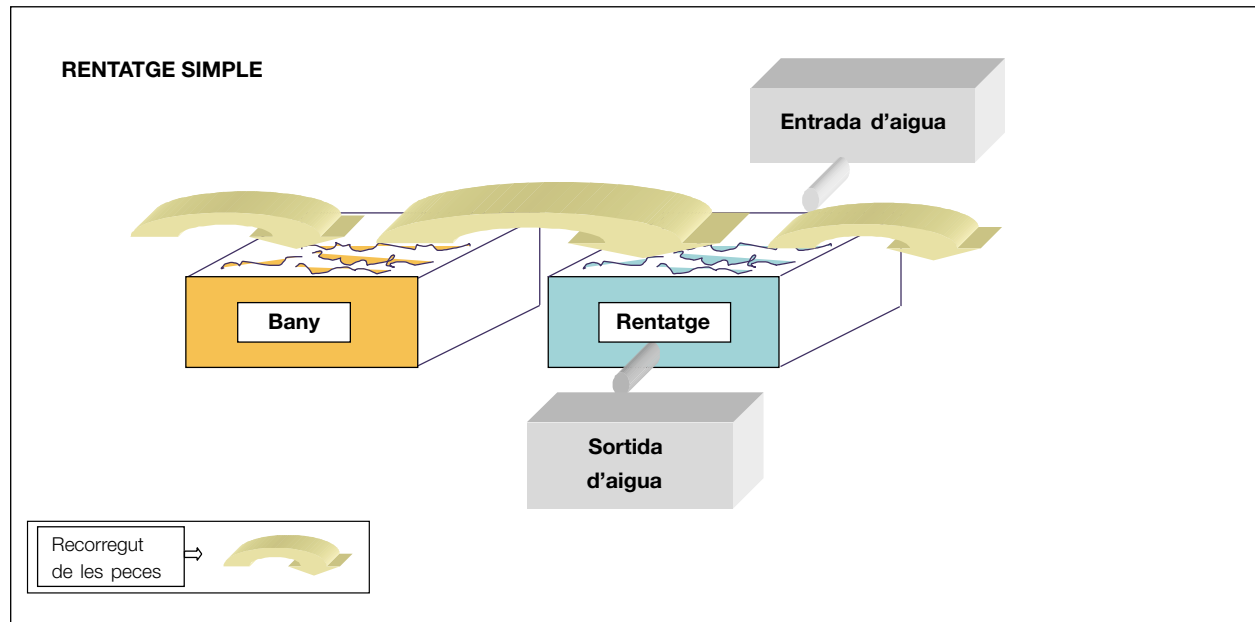
Tipus de procés	$Rd = Co/Cr$
Preparació (desgreixatge, decapatge)	500-5000
Acabats multicapa (Cu, Ni, Cr..) i major part de banys de deposició	5000-10000
Passivació cròmica hexavalent	1000-2000
Fosfatació ferro, anodització alumini	2000-5000
Rentatges finals crítics	> 10000

Com a estructures o sistemes de rentatge utilitzats al sector, trobem els següents:

2.3.3 Rentatges simples

És el sistema més estès en bona part d'empreses del sector a Catalunya. En aquest cas només trobem una única cubeta de rentatge, amb aigua corrent, després del bany de tractament.

Generalment, el cabal d'aigua necessari per garantir una dilució suficient és molt elevat.

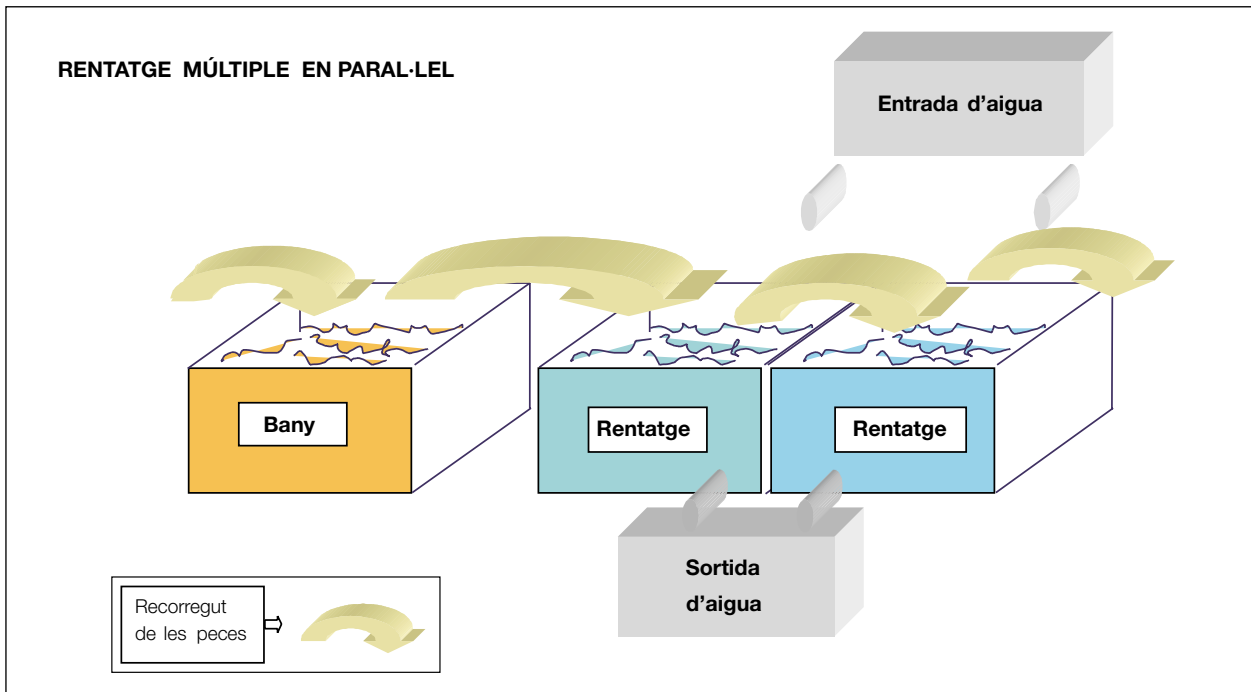


2.3.4 *Rentatges en etapes*

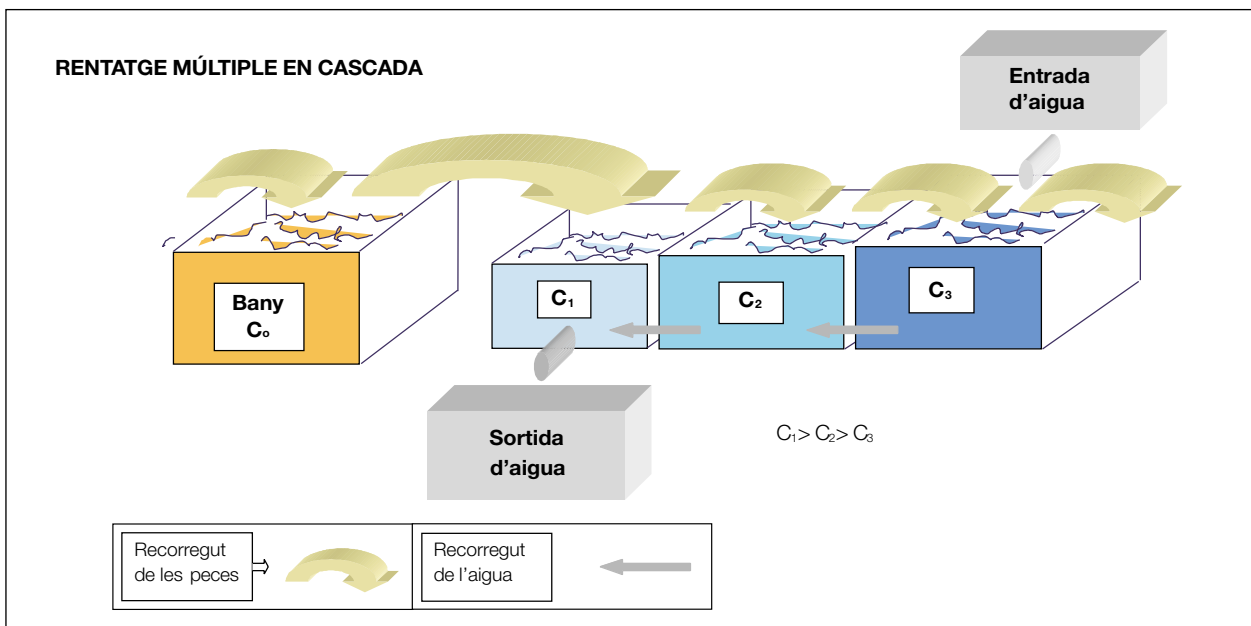
També són anomenats rentatges múltiples i, habitualment, són rentatges dobles (amb dues cubes). Aquest sistema de rentatge pot ser de dos tipus:

- **Rentatge múltiple en paral·lel:** És una bona alternativa per reduir, de manera considerable, el consum d'aigua.

Es dona quan existeixen diverses cubes de rentatge i cadascuna d'elles és alimentada, de manera separada, per una entrada d'aigua (en paral·lel).



• **Rentatge múltiple en cascada (en sèrie):** És, generalment, el sistema més recomanat (sempre que la planta disposi d'espai suficient).



Un simple estudi econòmic posa al descobert un fet inqüestionable: la inversió que suposa la instal·lació d'aquest sistema és mínima comparada amb l'estalvi d'aigua obtingut.

En aquest cas l'aigua neta s'introdueix per l'última cubeta de rentatge i passa (en cascada) fins a la primera. El sistema, doncs, funciona a contracorrent (la circulació d'aigua es produeix en sentit contrari al de la peça treballada). D'aquesta manera les peces sempre es troben amb una aigua cada cop més neta.

Es pot demostrar, com queda palès en l'apartat 3.1.2 d'aquest document, que el cabal d'aigua necessari per a un sistema de rentatge múltiple és radicalment inferior al que necessitem en un sistema simple.

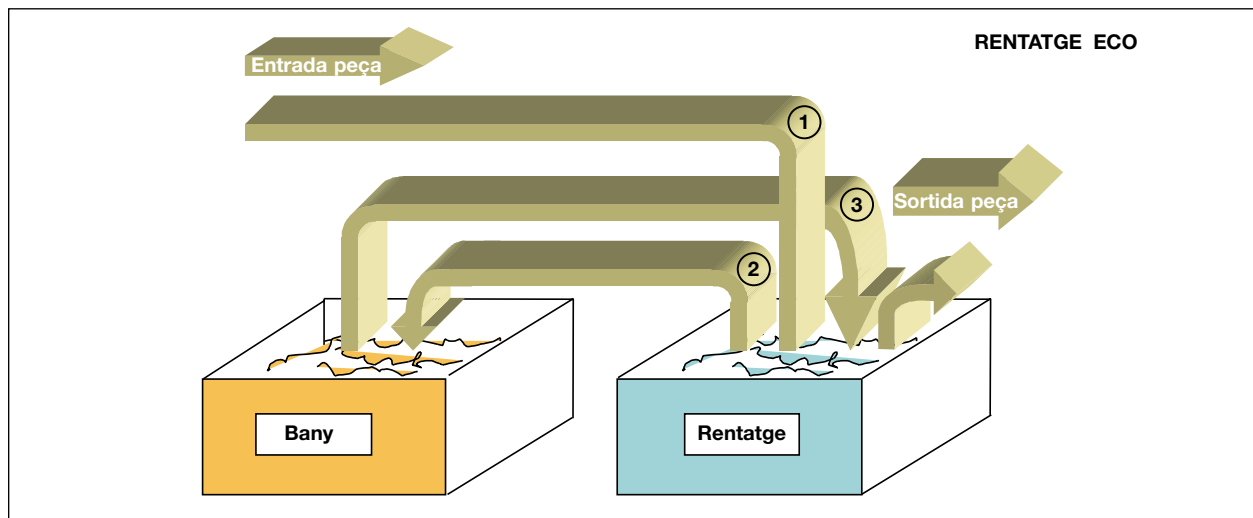
2.3.5 Rentatges estancs de recuperació

Es tracta d'un pre-entratge que serveix per retenir una part dels arrossegaments procedents del bany de tractament i, per tant, ajuda a economitza matèries primeres.

Com el seu nom indica, no està alimentat per cap cabal d'aigua contínua, sinó que periòdicament és renovat totalment. A més de la funció anterior, l'ús de les esbandides de recuperació permet reduir la contaminació del líquid arrossegat per les peces i, per tant, redueix les necessitats d'aigua de rentatges posteriors.

Aquests rentatges de recuperació pot ser que estiguin situats a continuació d'una solució de procés que treballa en calent. En aquest cas, poden utilitzar-se per reposar les pèrdues que, per evaporació, patirà el bany anterior.

Per alguns banys que treballen a temperatura ambient es pot fer, a la mateixa cubeta de recuperació, una esbandida prèvia i una posterior, de manera que l'arrossegament d'entrada al bany de procés procedeixi del propi sistema de recuperació. El resultat és una recuperació parcial sobre un procés en el qual no hi ha evaporació. Aquest tipus d'esbandida rep el nom d'ECO.



2.4 Condicionament d'aigües

2.4.1 Tractament previ al procés

En tractaments de superfície, de la qualitat de l'aigua d'entrada depèn la qualitat de la fabricació. Molts cops l'aigua d'entrada no és apta per ser utilitzada directament en els banys de procés i, fins i tot, pot comportar tantes impureses que ofereixi problemes en etapes de rentatge —especialment, si són finals— i que acabi saturant amb rapidesa equips de recuperació d'aquest element. Això és especialment patent a Catalunya, en la zona del Barcelonès o del Baix Llobregat, on valors de conductivitat de l'aigua d'entrada propers als 1.800-2.000 S/cm no són rars.

Cal, com a norma general, procedir a la seva anàlisi química inicial i determinar la presència, entre d'altres, de ferro, calci, magnesi, manganès i clorurs, ja que poden donar problemes en el procés d'electrodeposició. A més, cal tenir en compte la possible estacionalitat pel que fa a la qualitat de l'aigua (per exemple, és comú en molts indrets un augment de la concentració salina durant l'època estival). Malgrat tot, és difícil fixar uns valors òptims, ja que la qualitat de l'aigua va en funció de les condicions particulars de la seva utilització. De totes formes, s'accepta que una aigua amb un TH³ de 15-20 °F i un TAC⁴ de 10-15 °F va bé per a la preparació de la majoria de banys de procés i per als seus rentatges.

El que està clar és que utilitzar aigua d'entrada contaminada escurça la vida dels banys, la seva eficàcia, dificulta la recuperació de l'aigua de rentatge, origina rebuig de peces i contribueix a la càrrega contaminant a depurar.

Com a recomanacions generals, quant a la qualitat química de l'aigua d'entrada, l'industrial galvànic ha de tenir en compte les següents:

1. *Banys alcalins i els seus rentatges*: en general, és millor l'aigua tova per evitar deposicions i taques.

2. *Banys calents*: l'aigua més recomanable és la desmineralitzada (o la descarbonatada) per evitar la mineralització del bany per una concentració progressiva en sals.

3. *Rentatges finals*: cal controlar rigorosament la seva qualitat per evitar la formació de taques (presència de sals) i la posterior corrosió de la superfície acabada (presència de clorurs).

Entre els elements utilitzats per a la modificació de l'aigua d'entrada podem destacar els següents:

- descalcificadors,
- desmineralitzadors amb bescanviador iònic,
- osmosi inversa.

³ Títol hidrotimètric és la totalitat de sals de Ca i de Mg inestables (bicarbonats) i estables (carbonats, clorurs, sulfats, etc.).

⁴ Títol alcalimètric complet és la concentració en Ca i Mg lligada als bicarbonats.

2.4.2 Tractament posterior al procés: depuració fisicoquímica

És aconsellable, i de fet ja es fa en la majoria d'empreses del sector, que les aigües residuals generades als tallers de tractament de superfícies siguin agrupades en diferents corrents (segons les seves característiques químiques) i tractades per separat; i així se segueixi el mateix criteri per a les descàrregues dels concentrats esgotats, que siguin produïts de forma periòdica.

La situació de les plantes de tractament és preferible que es trobi sota el nivell dels desguassos, ja que d'aquesta forma els efluents arriben per acció de la gravetat fins als reactors de tractament, on es porta a terme la seva depuració i, una vegada han perdut la seva agressivitat química, poden ser bombejats fins al seu punt de destinació.

La depuració s'efectua químicament i la dosificació dels reactius es controla de manera automàtica. Aquest és el mètode més comú, encara que no permet cap tipus de recuperació dels materials valuosos perduts.

Per a la perfecta comprensió del funcionament d'una planta depuradora es fa necessari comentar els diferents mecanismes de les reaccions químiques que tenen lloc en les operacions de depuració.

Totes les formes de tractament poden agrupar-se en operacions de destrucció o transformació dels components de les aigües residuals, o bé de la seva separació d'aquestes.

Per als efluents procedents de les indústries d'acabats de superfícies, els components més importants són de tipus inorgànic, com ara metalls pesants o anions com cianurs o cromats. Existeix, en molts casos, presència d'olis i greixos que en ocasions és necessari separar. En canvi, la contaminació de tipus bacteriològic no és un problema en aquest sector industrial i, per tant, no serà considerada.

Tractament de cianurs

El cianur és un component molt comú en els corrents residuals produïts per les indústries de tractament de superfícies ja que, com hem vist, es fan servir molts banys de deposició electrolítica de metalls amb continguts elevats de cianur potàssic o sòdic. També es troben a les aigües de les instal·lacions de tremp de ferro o acer, ja que s'hi utilitzen sals cianurades foses o molt concentrades. Les concentracions de cianur lliure que podem trobar en aquests efluents oscil·len entre 20 i 100 mg/l, i en alguns casos fins i tot més.

És necessari fer una distinció entre els cianurs simples, com sòdic o potàssic, i els cianurs complexos de metalls pesants, com coure, níquel, zenc i d'altres. Els efluents residuals de galvanotècnia contenen cianurs dels dos tipus, i encara que les toxicitats són diferents i depenen de l'espècie química, és imprescindible la seva depuració.

El procés habitual consisteix a l'oxidació de l'ió cianur mitjançant un agent oxidant. El més comú és l'hipoclorit sòdic.

Els cianurs simples són oxidats amb facilitat per aquest agent oxidant. En canvi els complexos metàl·lics presenten diferents reactivitats segons el metall que continguin. Els complexos de zenc, per exemple, s'oxiden bastant ràpidament. En canvi, els complexos de plata o níquel reaccionen molt lentament. El complex de coure se situa entre aquests dos. El temps de reacció dependrà,

doncs, dels metalls presents en els efluent. Si això no fos així correríem el risc que la reacció fos incompleta. Igualment, si les condicions de reacció no són totalment adequades, es pot produir la generació de cianurs metàl·lics insolubles. Aquests poden decantar i escapar així de la depuració.

Els complexos cianurats de níquel necessiten per a la seva destrucció uns temps de reacció extremadament llargs, de l'ordre de deu a vint hores (impossible d'aconseguir a la pràctica). Atès que aquests cianurs no es formen més que quan es barregen aigües cianurades i aigües amb contingut de níquel, és molt important mantenir separats aquests dos tipus d'efluents.

La destrucció del cianur s'efectua per oxidació i es transforma en cianat (CNO). Els cianats, en presència d'un excés d'oxidant, són oxidats a diòxid de carboni i nitrogen. Normalment es considera que el cianat no presenta massa toxicitat, ja que és de l'ordre de mil vegades més petita que la de l'ió cianur. El cianat es pot hidrolitzar en medi àcid formant amoni i carbonat. L'amoni és més tòxic que el propi cianat i, per tant, aquesta possibilitat s'ha d'evitar.

Si l'oxidació es realitza amb hipoclorit, cal assegurar-se que les condicions (pH, excés de reactius, etc.) siguin les adequades per impedir l'alliberament a l'entorn de clorur de cianogen, gas volàtil i tan tòxic com l'àcid cianhídric.

La depuració dels cianurs complexos de metalls pesants es produeix a velocitats variables i, també, en diverses etapes. Així, per exemple, en el cas del cianur complex de coure i potassi ($K_3Cu(CN)_4$), tres grups de cianur es destrueixen relativament ràpid, mentre que el quart és molt resistent. Els cianurs complexos de ferro pràcticament no són atacats per l'hipoclorit i, per tant, s'ha d'emprar algun altre procediment com, per exemple, precipitació afegint una sal de ferro(II), en forma de "blau de Prússia" (hexacianoferrat(III) de ferro(II)). No obstant això, la toxicitat d'aquests complexos d'hexacianoferrat és petita, per exemple, 200 mg/l de complex corresponent a 0,1 mg/l de cianur.

Tractament de l'àcid cròmic

L'àcid cròmic és un dels compostos més tòxics i perillosos en les aigües residuals. A més, el seu cost relatiu és elevat en comparació amb d'altres productes utilitzats en galvanotècnia i, per tant, existeix un interès especial en la seva recuperació.

El procés de depuració més utilitzat actualment a Catalunya consisteix a la reducció, en mitjà àcid, del crom hexavalent a crom trivalent, el qual es pot fer precipitar en forma d'hidròxid a l'etapa de neutralització.

Per a la reducció d'un quilogram d'àcid cròmic, teòricament són necessaris 156 kg de bisulfít sòdic i 74 kg d'àcid sulfúric. En realitat, el consum de reactius és molt superior i pot arribar fins al 300% del consum teòric.

La precipitació del crom trivalent es porta a terme, normalment, després de reunir totes les aigües residuals amb contingut de metalls pesants. Aleshores, s'hi afegeix un àlcali, com sosa o llet de calç, i es produeix la precipitació dels hidròxids metàl·lics. La precipitació de l'hidròxid de crom es realitza a un pH comprès entre 7,8 i 8,5. A pH superiors hi ha perill de redissolució per formació de cromits, sempre en els casos que es neutralitzi mitjançant la sosa. Aquest risc és considerablement inferior en el cas de neutralització mitjançant la llet de calç.

Precipitació i separació d'hidròxids metàl·lics

La separació dels metalls tòxics en dissolució per precipitació en forma d'hidròxids és una tècnica àmpliament desenvolupada en depuració a Catalunya. Aquest procés té lloc simultàniament amb la neutralització de l'efluent, ja que el marge de valors admesos pel pH d'abocament és adequat per assegurar la precipitació de la majoria dels metalls comuns.

El plantejament d'aquesta fase del tractament requereix una anàlisi prèvia força profunda que tingui en compte conceptes com ara la solubilitat del metall segons el reactiu, el pH, la temperatura, la utilització d'agents coagulants i floculants, la precipitació d'espècies quelants, l'àlcali a utilitzar per a la precipitació, etc.

Com a recomanació general, abans de decidir-se per un sistema de tractament o un altre, l'industrial hauria de tenir en compte els aspectes següents:

1. Fer un estudi exhaustiu de totes les aigües residuals generades en els diferents punts de la línia galvànica.
2. Adoptar totes aquelles mesures de reducció en origen adients a la seva problemàtica, incloent-hi modificacions en equips, processos i pràctiques actuals.
3. Analitzar i, finalment, implantar mitjans destinats a recuperar els corrents residuals.
4. Finalment, decidir els sistemes de tractament més idonis, tenint en compte l'assoliment d'un grau satisfactori de descontaminació, tot minimitzant quantitat i toxicitat dels residus generats en el procés de tractament.

Com hem vist anteriorment, els procediments convencionals de tractament d'aigües residuals al sector de recobriments de superfície passen per l'eliminació dels metalls a través de la formació i precipitació d'hidròxids metàl·lics relativament insolubles. Els únics requeriments químics per a aquest procés és que els metalls es trobin lliures en l'efluent i que el pH sigui l'adequat per assegurar una òptima precipitació amb hidròxids.

El requeriment que els metalls es trobin en forma lliure és quelcom realment difícil en aigües carregades de cianurs, EDTA, NTA, abrillantadors, humectants, etc., quan, justament, l'addició de compostos complexants s'introdueixen en determinats banys de procés per regular la quantitat de metall lliure —en forma iònica— en l'electròlit. Un exemple molt representatiu el trobem en el cas dels banys cianurats de coure. L'experiència demostra que bona part de les plantes de tractament d'aigües residuals no tenen en compte tots aquests preceptes.

2.5 Corrents residuals

2.5.1 Introducció

Al sector de banys galvànics s'originen uns corrents residuals que provenen, en essència, de les pèrdues de matèries primeres derivades de la seva activitat. Part d'aquestes pèrdues de matèries són voluntàries; tal és el cas, per exemple, del buidatge d'un bany de desgreixatge

que deixa d'actuar per la seva contaminació en olis; el seu reemplaçament per un nou bany origina una solució residual, això és, un corrent residual. Però també tenim pèrdues de matèries de forma involuntària, com és el cas de les pèrdues per arrossegament (aquella fina capa de líquid que, en extreure les peces d'un bany les mulla i marxa del bany amb elles). En aquest cas, la necessitat de rentar les peces per netejar l'arrossegament genera una aigua residual contaminada per la pròpia matèria que hem perdut.

Vegem, tot seguit, quins són els corrents residuals més significatius del sector.

2.5.2 Corrents residuals generats

D'una forma genèrica, trobem els corrents residuals, per a les diverses activitats relacionades amb els processos de banys galvànics, que relacionem a continuació:

a) Emmagatzematge de primeres matèries:

- residus generats per matèries deteriorades en el magatzem,
- pèrdues de productes químics durant les operacions de manipulació i transvasaments per vessament, fuites de productes per ruptura de bidons o bé per pèrdues en les aixetes,
- pèrdues de producte retingut a les parets dels envasos i bidons en operacions de buidatge d'envasos,
- els propis envasos i bidons buits amb restes de producte.

b) Operacions de procés:

- partícules i pols procedents d'operacions de pretractament mecànic,
- emissió de dissolvents en operacions de desgreixatge,
- banys de desgreixatge bruts d'olis, greixos, pastes de polir, etc.,
- banys de decapatge contaminats pel metall de base de les peces tractades,
- banys usats inactius però que encara contenen productes d'aportació, bisulfit, anodització, fosfatació, cromatge, etc.,
- aigües residuals contaminades per l'arrossegament de líquid en sortir les peces dels diversos banys de procés,
- emissions difuses procedents de banys que treballen a certa temperatura (>50 °C),
- emissió de gasos de combustió per l'escalfament de banys o l'assecatge de peces,
- degoteig a terra de líquid de banys, entre cubes de procés o en creuar un passadís en instal·lacions manuals.

c) Activitats auxiliars:

- material absorbent brut i fangs procedents del manteniment de banys,
- solucions concentrades provenint de la regeneració d'equips de resines de bescanvi iònic o d'osmosi inversa,
- solucions concentrades i material brut de la depuració de banys,

- solucions concentrades de la depuració d'emissions a l'atmosfera,
- fangs amb hidròxids metàl·lics de depuració d'aigües residuals,
- solucions concentrades provenint de la desmetal·lització de bastidors,
- fangs, etc., de la neteja de conduccions, bombes, etc.,
- material filtrant per al tractament d'aigües exhaurit o brut, resines, filtres, etc.

Si englobem i classifiquem tots aquests corrents residuals, segons els vectors de contaminació convencionalment acceptats, tenim el següent:

Aigües residuals

- Eluïts de regeneració de resines o osmosi
- Efluents diluïts de rentatge de peces
- Solucions de banys concentrades esgotades o contaminades
- Solucions contaminades d'equips de rentatge de fums.

Residus industrials

- Banys de preparació de superfícies esgotats: desgreixatges i decapatges
- Banys de procés contaminats o esgotats: anoditzacions, neutralitzacions amb bisulfit, banys de cromat contaminats amb metalls pesants i crom trivalent
- Solucions desmetal·litzadores
- Solucions i filtres de tractament d'emissions a l'atmosfera
- Bidons i envasos buits
- Fang procedent de depuració d'efluents
- Material filtrant i absorbent divers: filtres, carbó actiu, absorbents, draps bruts, etc.
- Material usat en el tractament de l'aigua: resines de bescanvi iònic exhaurides filtres d'osmosi inversa, etc.

Emissions a l'atmosfera

- Emissió de pols i partícules provinents de les operacions de pretractament mecànic (granallat, polit, etc.).
- Emissions difuses provinents dels banys (pretractaments i procés), bàsicament constituïdes per vapor d'aigua procedents de solucions que treballen a certa temperatura (>50 °C)
- Emissions de compostos orgànics volàtils dels banys de pretractament de peces.
- Vapors amb àcid cròmic procedents del cromatge de peces
- Gasos contaminants provenint de calderes de combustió utilitzades per escalfar banys o assecar peces.

La següent taula dóna informació sobre la importància relativa dels tres vectors analitzats, en funció de la seva problemàtica ambiental i, consegüentment, l'esforç que hi ha de dedicar l'industrial:

Taula 4

Corrents residuals	Importància Relativa (%)
Aigües residuals industrials	50
Residus industrials	40
Emissions a l'atmosfera	10

Font: pròpia

2.5.3 Resum dels corrents residuals generats

A continuació, comentem amb un cert detall els diversos corrents residuals descrits, per als diferents processos productius.

Pretractament mecànic

Les operacions de granallat, polit mecànic i similars originen, fonamentalment, una emissió a l'atmosfera de pols i partícules metàl·liques que, quasi sempre, són recollides per sistemes de filtrat, obtenint-se un residu industrial. Per altra banda, el propi material abrassiu utilitzat, un cop desgastat per la seva fricció amb les peces metàl·liques, acaba convertit en un altre residu industrial que s'ha de gestionar.

Desgreixatge de peces

Depenent del tipus de desgreixatge usat, el corrent residual que es generi serà d'un tipus o d'un altre. Bàsicament, pel seu grau d'implantació, diferenciem dos tipus de desgreixatge majoritari: desgreixatge mitjançant dissolvents halogenats (TRI, PER, etc.) i desgreixatge aquós en medi alcalí.

En el cas d'utilització de dissolvents halogenats, aquests es van contaminant amb els olis, greixos, pastes de polir, etc. que porten les peces en entrar abans del procés galvànic. Aquests dissolvents bruts, en cas que no es recuperin via destil·lació, acaben convertits en un residu altament contaminant que es genera amb una certa periodicitat. Així mateix, l'ús d'aquests dissolvents genera una emissió a l'atmosfera de compostos orgànics volàtils (COV's).

Per als desgreixatges aquosos en medi bàsic, a part de la contaminació d'olis i greixos esmentada, els compostos contaminants més habituals són les sals sòdiques (hidròxids, carbonats, fosfats i metasilicats), a més de tensioactius o complexants (EDTA, NTA, etc.) de naturalesa orgànica. Antigament —i encara es podria trobar algun cas ara— també s'afegia cianur sòdic al bany per reforçar el poder desgreixant; actualment, gràcies a les millores tecnològiques en la formulació d'aquests banys, aquesta pràctica està pràcticament extingida. Es tracta d'un

residu que es genera amb més periodicitat que els dissolvents halogenats però, en contrapartida, el pot depurar l'industrial amb la seva planta depuradora (si la instal·lació ho permet), ja que la seva gestió és un procés molt més econòmic. En el cas de que el bany sigui en calent, tindrem també una emissió difusa de vapor d'aigua. Existeixen diferents sistemes per a quantificar aquestes pèrdues difuses d'aigua per evaporació; en aquest cas, proposem utilitzar la següent taula on, en funció de la temperatura de la solució de treball i de la seva densitat, tenim uns valors d'evaporació per metre quadrat de cuba i hora. Per a dades que no coincideixin, es pot fer una extrapolació.

Taula 6

Densitat de la solució	Exemple de solució	Temperatura (°C)	Valor d'evaporació (l.m2/h)
1	Aigua	50	1
		70	9
		90	23
1,2	Bany de níquel	50	0,8
		70	7
		90	20
1,4	Bany de crom dur	50	0
		70	2
		90	5

En cas d'existir un sistema d'aspiració de gasos o d'agitació per aire de la solució, cal incrementar en un 50% aquests valors d'evaporació.

Decapatge

La gran majoria de decapats solen ser dilucions —més o menys concentrades, encara que predomina el 30%— d'un àcid en aigua: àcids clorhídric i sulfúric, com a principals, i àcids nítric, fosfòric o fluorhídric com a secundaris.

El residu es genera —per càrregues— quan, en atacar el metall base que s'està decapant, part d'aquest metall es dissol en l'àcid i l'acaba contaminant de tal manera que aquest perd la seva funció decapant. En aquest moment, es genera el residu que, per les seves característiques, pot ser tractat pel propi industrial en plantes depuradores de tipus fisicoquímic. La seva generació és més esporàdica que la que correspon als desgreixats aquosos alcalins.

Processos galvànics

Els contaminants generats dependran del tipus de procés, de la seva composició i concentració, etc. Bàsicament, però, als processos galvànics es poden classificar en:

- per a solucions que treballen a més de 50°C, emissions difuses de vapor d'aigua a l'atmosfera i partícules de crom en els banys de cromatge;
- emissions de gasos de combustió procedents de calderes utilitzades per escalfar banys de procés i/o assecat peques;
- banys de tipus àcid: níquelatge, zincat àcid, coure àcid, estanyat, anodització d'alumini, fosfatació de ferro, passivació blanc, entre d'altres;
- banys de tipus alcalí: zincat alcalí exempt de cianurs, coure alcalí exempt de cianurs, pavonatge, com a principals;
- banys de tipus alcalí cianurat: zincat cianurat, coure cianurat, daurat, platejat, etc.;
- banys de tipus àcid cròmic: cromat i passivació groc, com a més estesos.

En funció de la composició del bany, trobarem el metall pesant corresponent al bany (Ni, Cu, Zn, Fe, Al, Sn, Au, Ag, etc.), amb els anions que l'acompanyen en la seva forma de sal (Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, CO₃²⁻; OH⁻, etc.). En el cas de banys cianurats, a més del metall corresponent i les diverses sals, trobarem la forma CN⁻, en les seves diverses expressions d'equilibri dinàmic. Quan a la majoria de banys de cromat, trobarem Cr⁶⁺.

Aquesta forma química de classificar els corrents residuals generats en el procés galvànic, té la seva correspondència física, consistent en els corrents següents:

- diluïts,
- concentrats.

Mentre que els diluïts fan referència bàsicament a les aigües d'esbandida entre processos de tractament, els concentrats corresponen al propi bany o alguna esbandida estanca concentrada que l'empresa necessiti renovar.

Els diluïts solen generar-se en continu, al llarg de l'activitat de recobriment, mentre es van rentant les peces entre els diversos banys de procés, mentre que els concentrats es produeixen per càrregues, en arribar al final de la vida útil del bany o màxima concentració admissible d'una esbandida estanca.

Emmagatzematge de primeres matèries

Com s'ha descrit, bona part dels corrents residuals que es generen en aquesta àrea de l'empresa té lloc per unes condicions d'emmagatzematge i/o d'operació no gaire adequades; és a dir, en la majoria dels casos, per pràctiques ambientals poc aconsellables. Entre elles podem destacar la mala gestió dels estocs del magatzem, uns sistemes deficients d'emmagatzematge i/o transvasament de materials, una baixa formació i informació del personal encarregat del magatzem, etc. D'aquesta manera, es generen productes caducats, vessaments accidentals que no es recullen degudament, pèrdues en els transvasaments, envasos buits mal escorreguts amb restes de producte al seu interior, etc. Tot plegat acaba convertint-se en un corrent residual que cal gestionar adequadament.

Activitats auxiliars

Dins de les operacions auxiliars, podem destacar les següents com a més significatives, quant a la generació de corrents residuals:

- depuració d'aigües residuals: origina una quantitat de fangs, en forma d'hidròxids metàl·lics que, segons els casos, pot resultar molt important (és el cas de l'anodització d'alumini). Dins d'aquest tractament propi, l'empresa habitualment gestiona bona part dels corrents residuals —en forma líquida— que ha generat en el procés galvànic; és a dir, aigües d'esbandida diluïdes i solucions o banys esgotats concentrats. També s'hi troben, segons el tipus de banys de què disposi l'empresa, cianats i hidròxids de crom. La gestió del residu s'efectua mitjançant gestors autoritzats;
- operacions de neteja i manteniment de banys: en aquest cas, s'obté tant un material filtrant brut com el propi material filtrat, en forma de llot, sediment o material adsorbent, contaminat; la seva gestió habitual és externa.
- desmetal·lització de bastidors: operació molt contaminant, car sol utilitzar solucions amb productes complexants, cianurats o àcids de difícil tractament posterior —cas, per exemple, de l'àcid nítric—; a més, la situació es complica ja que presenta una forta concentració del metall que s'ha extret del bastidor. Donats tots aquests factors, el més aconsellable és la gestió externa mitjançant un gestor autoritzat.
- altre material procedent d'equips de tractament d'aigües —resines de bescanvi iònic, osmosi inversa, etc.— genera, molt de tard en tard, residus sòlids que requereixen un tractament posterior: resines exhaurides, carbó actiu contaminat, material filtrant com ara membranes, etc. Tots ells són gestionats a través d'empreses autoritzades.

Per concloure aquesta descripció referida als corrents residuals generats pel sector galvànic, cal dir que bona part dels residus generats en forma líquida —tant diluïts com concentrats— són gestionats *in situ* pel propi industrial, mitjançant un tractament fisicoquímic, mentre que la majoria de residus de tipus sòlid, com hem anat veient, són enviats a gestors externs autoritzats per al seu tractament.

Finalment, en les pàgines següents s'adjunten uns esquemes resumint la informació facilitada en aquest capítol.

Diagrama de flux. Magatzem de materials

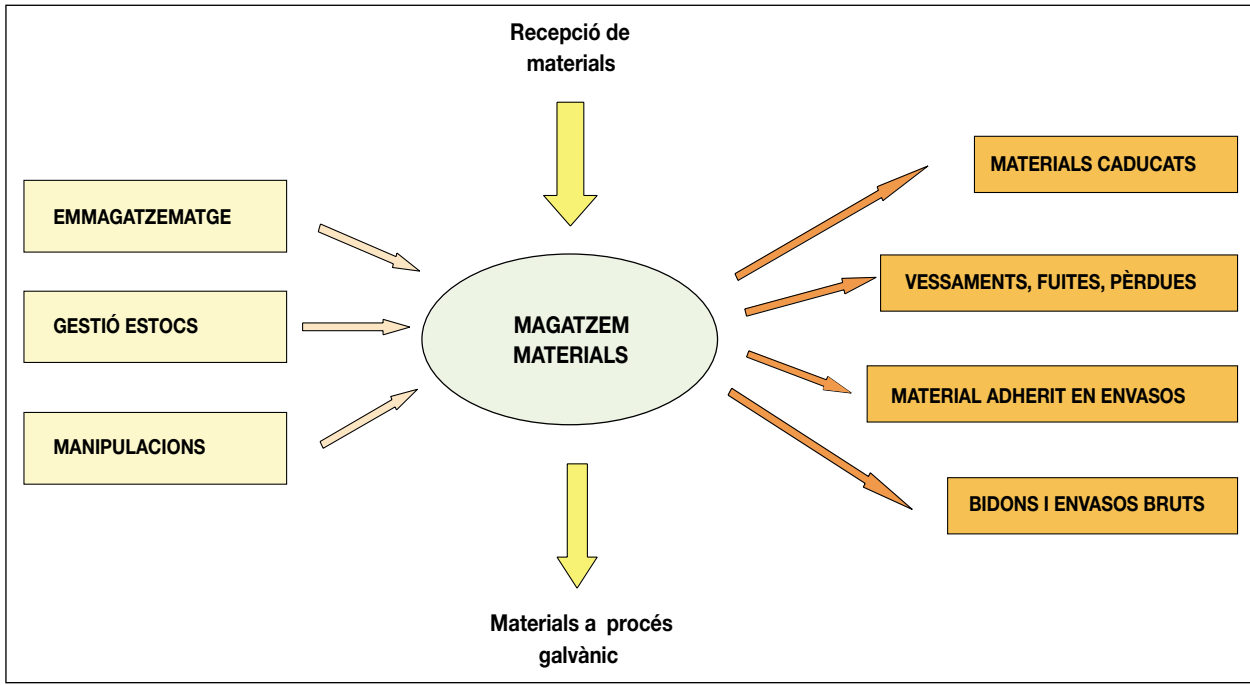


Diagrama de flux. Procés galvànic

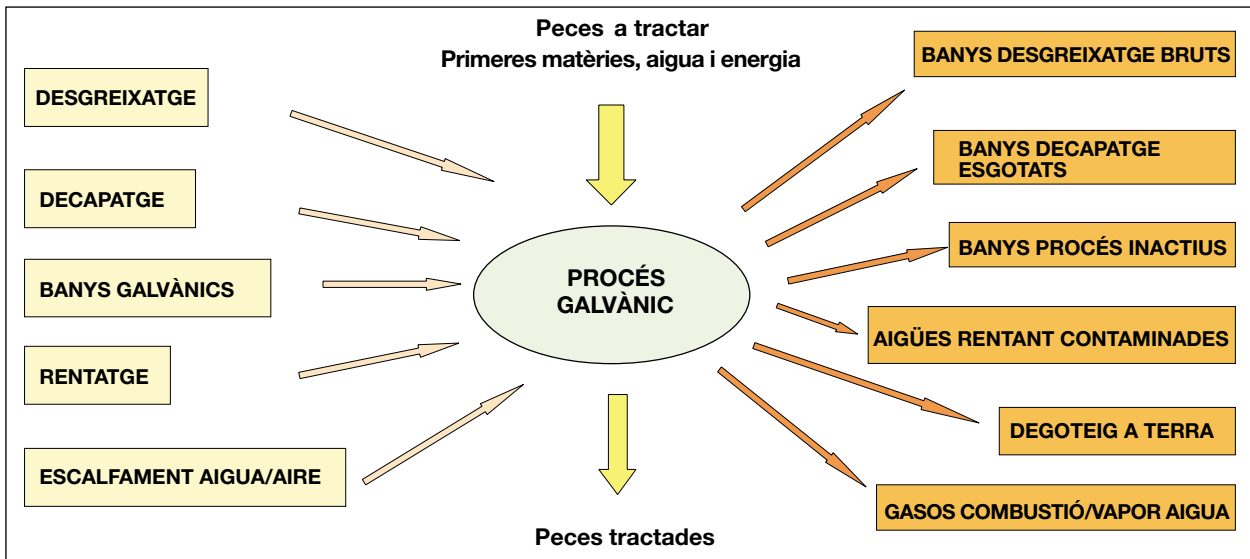
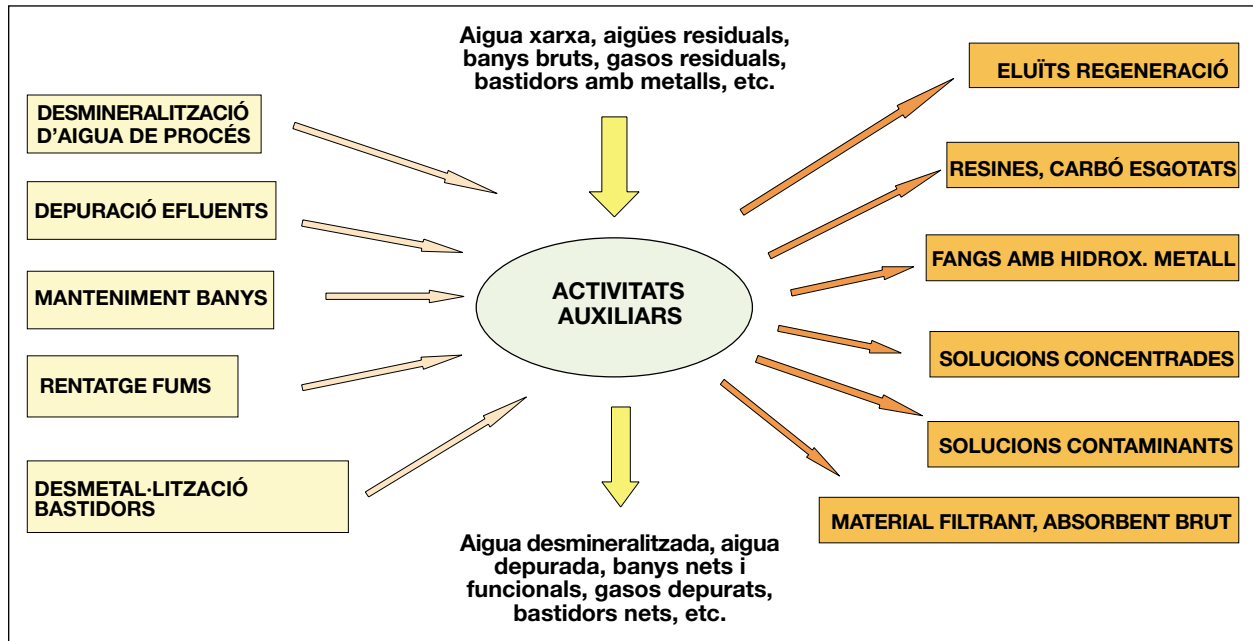


Diagrama de flux. Activitats auxiliars



Taula 5

Descripció del corrent residual	CRC ¹ / CER ²	Origen	Classific. ³	Descripció
VECTOR: Aigües				
Efluents diluïts	1102 / 110111 110112	Rentatge de peques	Serà ES / NE segons el CER corresponent	Esbandits procedents del tractament i revestiment de metalls (galvanització, anodització, fosfatació, decapatge)
Solucions concentrades de procés (en cas que siguin tractades per la pròpia empresa)	—	Bany de procés esgotats contaminats	—	Líquids i banys de tractament i revestiment de metalls (galvanització, anodització, fosfatació, decapatge)
Eluïts de regeneració	190306 / 110115 060901 / 110115	Solucions concentrades de la regeneració de resines de canvi iònic i d'osmosi inversa	ES ES	Eluïts de regeneració de resines de bescanvi iònic
Solucions concentrades d'emissions a l'atmosfera	110203 / 110198 110204 / 110199	Aigües contaminades de sistemes de depuració de gasos i vapors	ES NE	Líquids i banys no cianurats cròmics Líquids i banys no cianurats no cròmics
VECTOR: Residus				
Dissolvents halogenats bruts	140202 / 140602	Dissolvents halogenats (tricloroètil, percloroètil, etc.) bruts amb olis, greixos, etc.	ES	Dissolvents, mescles brutes amb dissolvents i líquids orgànics halogenats
Solucions concentrades de pretractaments (en cas que siguin gestionades externament)	110207 / 110105 110113 110114 110208 / 110107 110113 110114 110209 / 110105 110107 110113 110114	Bany de preparació esgotats o contaminats (desgreixatges alcalins i decapatges àcids) amb olis i metalls	Serà ES / NE segons el CER corresponent	Líquids i banys no cianurats no cròmics Solucions àcides decapants, passivants, desgreixadores sense àcid cròmic. Solucions alcalines decapants, passivants, desgreixadores. Altres solucions decapants, passivants, desgreixadores.
Solucions concentrades de procés	110202 / 110198 110203 / 110198 110204 / 110199	Banys galvànics esgotats o contaminats (anodització, fosfatació, cromatge, bisulfit, etc.)	ES ES NE	Líquids i banys no cianurats cròmics Líquids i banys no cianurats no cròmics Solucions àcides decapants, passivants
Solucions alcalines amb tensoactius	110208 / 110107 110113 110114	Solucions alcalines amb tensoactius brutes amb greixos, olis, etc. (desgreixatge químic)	Serà ES / NE segons el CER corresponent	Solucions alcalines decapants, passivants, desgreixadores
Solucions concentrades en manteniment d'instal·lacions	110203 / 110198 110204 / 110199 110209 / 110105 110107 110113 110114	Solucions emprades per a la desmetal·lització de bastidors	ES NE serà ES / NE segons el CER corresponent	Líquids i banys no cianurats cròmics Líquids i banys no cianurats no cròmics Altres solucions decapants, passivants, desgreixadores

Els codis CRC/CER i la classificació indicats a la taula següent és informació orientativa

Descripció del corrent residual	CRC ⁵ / CER ⁶	Origen	Classific. ⁷	Descripció
Material absorbent en el tractament d'emissions a l'atmosfera	150201 / 150202 150203 150202 / 150202 150203	Material de filtratge de COV's Material de filtratge d'emissions a l'atmosfera amb metalls pesants	Serà ES / NE segons el CER corresponent	Adsorbents, materials de filtració, draps de neteja i roba protectora contaminats amb metalls pesants
Bidons i envasos buits	150102 / 150110 150104 / 150110	Bidons de plàstic i envasos metàl·lics que han contingut materials	ES ES	Envasos i embalatges de plàstic Envasos i embalatges metàl·lics
Fangs procedents del tractament d'efluents	110390 / 110109 190205	Fangs procedents del tractament fisicoquímic de les aigües residuals	ES	Llots de tractament d'efluents (pretractaments i depuradores)
Llots de tractament d'efluents	120390 / 110110 190206	Procedents de la sedimentació, decantació, filtració, premsatge	NE	Llots de tractament d'efluents (generats en la depuració de les aigües residuals produïdes abans de qualsevol tractament químic posterior i convenientment separades i tractades)
Material filtrant usat en tractament d'aigua	190305 / 190806 190307 / 190904	Carbó actiu i resines de bescanvi iònic exhaurits	ES NE	Resines de bescanvi iònic Carbó actiu
Material filtrant i absorbent divers	110401 / 110199 150202 / 150203	Material del filtratge i manteniment de banys: filtres, draps, etc.	NE NE	Residus inorgànics que contenen metalls no especificats anteriorment Adsorbents, materials de filtració, draps de neteja i roba protectora contaminats amb metalls pesants
Partícules de pretractaments mecànics. Sorres	120101 / 120101 120103	Granallat, polit mecànic, etc.	NE	Granalla, llimadures, ferralla i partícules metàl·liques
VECTOR: Emissions a l'atmosfera				
Vapors d'aigua de procés	—	Vapors de cubes que treballen a certa temperatura (>45-50 °C)	—	—
Vapors amb àcid cròmic	—	Vapors que contenen gotes d'àcid cròmic procedent del cromat	—	—
Gasos contaminants de fonts de combustió	—	Gasos que provenen de la combustió en l'escalfament de banys o assecatge de peces	—	—

¹ Segons Decret 92/1999 de 6 d'abril, de modificació del Decret 34/1996, de 9 de gener, pel qual s'aprova el Catàleg de residus de Catalunya.

² Classificació segons el Catàleg Europeu de Residus aprovat amb les Decisions de la Comissió: 2000/532/CE, 2001/118/CE, 2001/119/CE, 2001/573/CE.

³ Classificació segons el Catàleg Europeu de Residus.

3

Les alternatives de prevenció de la contaminació

La *prevenció en origen* de la contaminació significa, en primer lloc, evitar la seva generació. A banda de les millores ambientals que s'assoleixin, la implantació d'una política de prevenció de la contaminació repercuteix en una disminució del cost de la gestió ambiental, el disseny de les instal·lacions de tractament dels corrents residuals amb un correcte dimensionament, la millora de la imatge i l'aportació d'un grau superior de protecció de les persones i del medi ambient.

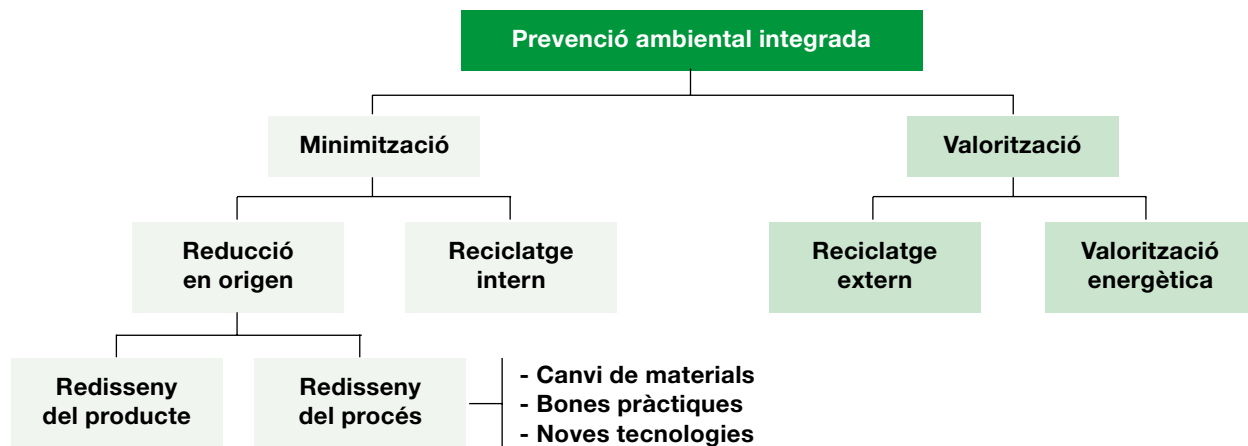
La *minimització* de residus, aigües residuals i emissions contaminants a l'atmosfera és un concepte equivalent al de prevenció en origen de la contaminació i pot ser definit com la combinació de la reducció i el reciclatge en origen.

La *reducció en origen* consisteix a evitar o disminuir corrents residuals (o el seu grau de perillositat per a l'entorn) abans que s'hagin generat per mitjà de modificacions en el procés de fabricació, l'aplicació de bones pràctiques, el canvi de materials i/o de producte o la utilització de tecnologies més respectuoses amb el medi ambient.

Una vegada s'han aplicat les formes viables de reducció en origen es considera, com a segona opció, el *reciclatge en origen*, és a dir, la reutilització del corrent residual que inevitablement s'hagi produït dins del mateix procés o establiment que l'hagi generat.

Una política mediambiental correcta només prendrà en consideració els tractaments a final de línia i/o la gestió del corrent residual quan s'hagin analitzat i/o aplicat les opcions de minimització viables per a l'empresa.

La figura següent esquematitza el concepte de minimització o prevenció en origen:



L'estudi i el coneixement del sector de tractaments de superfície a Catalunya posen de manifest una sèrie de factors que poden provocar defectes de funcionament i, a vegades, una deficient gestió mediambiental de les empreses.

L'objecte principal d'aquest apartat és donar una sèrie d'alternatives més atractives ambientalment que algunes pràctiques actuals. Aquestes alternatives s'adrecen vers una reducció en origen dels corrents residuals i vers una gestió eficaç dels residus que poden generar-se. La reducció dels arrossegaments, la substitució de matèries primeres per altres potencialment menys contaminants, la reutilització de les aigües, el tractament d'aquestes i les bones pràctiques professionals dels operaris seran, en els apartats següents, objecte d'aquest document.

3.1 Reducció en origen de la contaminació

3.1.1 Canvi de materials. Substitució de matèries primeres

La substitució de matèries primeres és una de les alternatives emprades per reduir la generació de corrents residuals. En molts casos s'estan utilitzant matèries primeres altament contaminants en els processos de preparació de la peça o en els banys de procés. Tanmateix, hi ha alternatives a aquestes matèries, emprades ja amb bons resultats, basades en productes químics que no ataquen el medi ambient de la manera com ho fan els que fins ara han estat tradicionals i que, alhora, realitzen la mateixa funció o proporcionen els mateixos resultats que aquests. Vegem, per als diferents banys, l'alternativa disponible.

Desgreixatge

La utilització de diferents dissolvents clorats, com ara el tricloroetà, tricloroetilè, percloroetilè, etc., tendeix a desaparèixer progressivament, a causa dels impactes que tenen aquests compostos sobre la salut de les persones i sobre el medi ambient.

Aquest fet ha provocat l'aparició de diferents productes alternatius, per part d'algunes cases comercials dedicades al proveïment de matèries primeres.

El cert és que, en determinats casos, el mateix substitut del dissolvent clorat millora la seva activitat, i és més efectiu en la tasca de desgreixatge.

Entre tota la gamma de productes alternatius, cal citar en primer lloc les *mescles a base de p-cimè*, ja que són productes perfectament efectius en el desgreixatge, alhora que estan formats per agents tensioactius totalment biodegradables. Es tracta d'un terpenoide monocíclic (1,8 (9) P-Menthadiè) que té unes característiques que el fan apte per a nombroses aplicacions: producció d'aromes i perfums, formulació de dissolvents i detergents, substitut en alguns casos dels clorofluorocarbonats, substitut també de l'1,1,1 tricloroetà, tricloroetilè i percloroetilè, detergents desgreixadors per a acers i metalls en general, etc. Com a característiques principals podem citar que no és tòxic, és totalment biodegradable, no altera la capa d'ozó i no perjudica l'atmosfera, entre d'altres. Com que s'utilitza en via humida, per segons quines aplicacions, és recomanable realitzar abans una prova pilot per a comprovar que la qualitat del producte final no queda afectada.

La dificultat que planteja aquest substitut és que per a la seva utilització és imprescindible un equip automàtic de rec del producte per aspersion i de moviment de les peces a desgreixar, per afavorir l'efecte mecànic del desgreixatge.

Recentment, hi ha la possibilitat d'utilització d'*hidrofluoroèters (HFE)* amb bones característiques desgreixants; a més, la peça surt seca. Aquests productes tenen com a principals característiques: baixa toxicitat, estabilitat tèrmica i química, baixa viscositat i tensió superficial, són excel·lents humectants, presenten bona penetració, baixa solubilitat en aigua, no són inflamables, sense punt d'ignició. El producte, igual com succeeix amb els dissolvents clorats, pot adquirir-se conjuntament amb un equip de destil·lació que permet la recuperació de la major part del líquid residual que es genera. El cost d'aquests productes és, actualment, força elevat en comparació amb els dissolvents halogenats. Si bé la inversió inicial pot ser important, la seva amortització la converteix en una opció viable econòmicament.

Pel que fa a l'altre gran grup de desgreixatges, el dels *desgreixatges químics*, cal citar també la limitació en l'ús de desgreixatges que continguin elevats nivells de fosfats, així com derivats de l'EDTA, NTA i similars, per evitar la formació de complexos solubles entre aquests compostos i els metalls presents en l'efluent. La problemàtica radica en el fet que cal alliberar el metall del complex format per a la seva posterior precipitació. Per a aquest alliberament són necessàries unes condicions tals, que fan inviable el procés de depuració, ja que es requereixen, entre d'altres condicions, un elevat temps de tractament i, per tant, un més que considerable increment del cost de depuració de les aigües residuals. Com a alternativa, tècnicament viable, tenim la utilització del *gluconat sòdic*, compost que forma un tipus de complexe metàl·lic de menor força, per la qual cosa no dificulta tant la posterior precipitació dels metalls complexats.

Decapatge

Quant als decapatges, podem dir que la tendència habitual és la utilització d'àcid clorhídric. Aquest augmenta la velocitat d'atac del metall quan augmenta la concentració del ferro dissolt.

Això provoca un difícil control d'aquesta velocitat d'atac. L'alternativa més comuna és la *substitució* d'aquest àcid *per àcid sulfúric*, que permet un control de l'atac del metall a través del seguiment de la temperatura del bany.

Niquelatge electrolític

No existeix, ara per ara, cap substitut alternatiu al procés de niquelat electrolític; les úniques mesures que es poden implantar són derivades de la racionalització en els rentatges posteriors al procés i de la seva recuperació en la solució de treball.

Procés de cromatge

A la bibliografia existent sobre el tema es planteja, com a solució alternativa, *l'ús del crom trivalent enfront de l'hexavalent*, ja que la toxicitat del primer és considerablement inferior respecte al segon.

El problema que s'origina amb la utilització de la forma trivalent, en lloc de l'hexavalent, és que es formen uns dipòsits foscos sobre la superfície de la peça banyada i no s'aconsegueix la qualitat desitjada del producte.

Altres opcions, a utilitzar quan no sigui possible la substitució pel crom trivalent, poden ser:

- la utilització de tècniques d'evaporació permeten recuperar més quantitat d'aigua de les esbandides de recuperació i, per tant, retornar més quantitat de producte. Incrementant el nombre consecutiu d'esbandides de recuperació es pot aconseguir evitar o reduir al mínim l'abocament d'aigua amb contingut de crom.
- la utilització de resines de bescanvi iònic amb la posterior recuperació de l'eluit en forma d'àcid cròmic concentrat.

Bany de coure

D'entre totes les possibilitats existents entre els banys de coure, la més extesa per les seves prestacions continua sent el bany alcalí cianurat. Sí que es cert que, per a determinades aplicacions concretes, es pot *substituir el bany cianurat per una opció (alcalina o àcida) no cianurada*. Cal, però, analitzar cas per cas i fer proves per veure si la qualitat sobre la peça és la cercada.

Banys de llautó

Actualment, *no hi ha cap alternativa viable a la utilització de compostos cianurats* en la formulació dels banys de llautó.

Per tant, caldrà aplicar mesures de minimització, com ara la reducció de la concentració dels compostos cianurats al bany i la incorporació de les esbandides de recuperació, i mesures de correcció consistents en l'oxidació dels cianurs i la precipitació dels metalls.

Banys de plata

En aquest cas ens trobem amb el mateix problema que en el cas del bany de llautó, tenint com a única alternativa l'oxidació de cianurs i la precipitació i posterior recuperació de plata.

Banys d'or

En tractar-se d'un metall de cost elevat, podem dir que *actualment ja es recuperen totes les solucions gastades* i que intervenen en el procés productiu, bé sigui per precipitació o bé mitjançant resines de bescanvi iònic.

D'aquesta forma, el cianur d'or i potassi (AuKCN_2), ja sigui en medi àcid o alcalí, es dissocia per permetre la deposició de l'or, mentre que la petita quantitat de cianur lliure que queda resultant del procés s'oxida automàticament a l'ànode de la cuba electrolítica, i d'aquesta forma es minimitza la contaminació d'aquest compost tan tòxic.

Per obtenir la precipitació de l'or que queda en les cubes de rentatge, separant-lo de la resta de la mol·lècula de cianur, s'utilitza generalment zinc en pols, alumini o ditionat sòdic, que actuen trencant la mol·lècula de cianur d'or i fan precipitar l'or. El poc cianur lliure que queda pot oxidar-se posteriorment sense cap problema.

Procés de zincat

Com hem vist anteriorment, el zinc és dipositat per tres vies:

- via àcida,
- via alcalina cianurada,
- via alcalina sense cianur.

Evidentment, els tres processos impliquen la formació d'uns compostos diferents segons la via utilitzada. Per tant, és interessant proposar aquells processos que, per una banda, originen menys compostos i menys tòxics i, per una altra, tinguin bon tractament posterior.

D'acord amb aquest criteri, l'actual estat de la tècnica s'està decantant per la substitució dels processos cianurats a favor dels *processos àcids o alcalins sense cianurs* (atesa la toxicitat que presenten el cianur i els seus complexos). En aquest sentit, ja es troben en el mercat, des de fa uns quants anys, aquestes alternatives que presenten una elevada efectivitat tecnològica.

Així doncs, les altres dues alternatives tècnicament viables a considerar són les de *zincat àcid i zincat alcalí no cianurat*. Tot seguit es descriuen quines són les seves possibilitats de cara a la prevenció en origen de la contaminació.

En el *procés de zincat àcid* es produeixen, com a principals contaminants, clorurs, àcid bòric i amoni.

D'entre tots ells, l'amoni és un compost que es pot eliminar actualment en les formulacions d'aquest procés: es tracta de substituir el clorur amònic per clorur *potàssic*, amb la qual cosa es pot reduir significativament la contaminació del procés.

Quant a la substitució del procés de zincat àcid per una altra alternativa, això no és possible avui en dia. A més, pel fet de tenir un rendiment catòdic molt proper al 100%, el converteix en un procés imprescindible en el tractament d'acer trempat i material sintetitzat, ja que aquests materials són molt difícils de tractar en processos de baix rendiment catòdic, a causa de la gran formació d'hidrogen que es diposita sobre el material, i així fan impossible la deposició del zenc.

L'altre tipus de procés, el de *zincat alcalí sense cianur* ha significat un gran avanç tecnològic. Gràcies a la seva formulació a base d'òxid de zenc i hidròxid sòdic, es pot utilitzar alternativament en moltes indústries, alhora que disminueix considerablement el seu grau de contaminació (comparat amb el cianurat).

A més, el posterior tractament de les aigües residuals és força més senzill i ràpid que en el cas del cianurat, ja que es pot depurar amb un senzill ajustament del pH a 9,2-9,5, fent servir àcid sulfúric diluïd o hidròxid de calci.

Passivació del zenc

En la formulació utilitzada actualment per passivar el zenc intervenen alguns d'aquests compostos àcids: cròmic, clorhídric, sulfúric, nítric, acètic, fosfòric o fòrmic. Aquests compostos produeixen diferents acabats cromàtics sobre la superfície del zenc.

La majoria dels processos de passivació utilitzen el crom VI com a component bàsic d'aquestes passivacions.

Aquestes solucions han d'ésser canviades freqüentment i, a més d'aquests mateixos contaminants esmentats, es poden destacar els següents, com a més remarcables: Zn, Fe i Cr III, que provenen de l'atac a les peces zincades i de la reacció d'oxidoreducció del CrVI a CrIII.

Un cop més, ens trobem amb un element especialment contaminant com és el Cr VI. Malauradament, malgrat els nombrosos esforços que es fan per substituir-lo, no existeix cap element que el pugui reemplaçar de manera efectiva, des del punt de vista de qualitat estètica del producte, no de les propietats que atorga a la superfície. Cal dir que fa uns anys es va començar, per part d'alguns països europeus, a utilitzar el Cr III de manera alternativa, sobretot per aquells productes que no tenen una important component estètica.

En aquest sentit, sembla que, en el cas de la passivació blava, la utilització de Cr III està donant resultats força positius i s'està estenent el seu ús a Catalunya. A més, la futura limitació de l'ús del Cr VI en recobriments de passivació en el sector automobilístic europeu afavorirà la recerca d'alternatives, entre les quals s'imposa amb força l'ús del Cr III.

Oxidació anòdica de l'alumini

Respecte a aquest procés, distingirem les dues fases que el componen: preparació superficial i anodització pròpiament dita.

Entre els principals contaminants trobats tenim els àlcalis, fosfats, tensioactius, alumini, olis i greixos.

En el procés de desgreixatge i setinatge de l'alumini, es produeixen una bona part dels contaminants descrits. En l'actualitat, resulta difícil indicar un procés alternatiu menys contaminant. Una alternativa a aplicar podria ser la de recircular els banys de desgreixatge, previ tractament per un equip de separació i concentració d'olis.

Durant l'anodització de l'alumini es va dissolent una part del mateix alumini en el propi bany de procés. Arriba un punt en què la seva concentració és tant alta que disminueix considerablement el rendiment del bany, per la qual cosa aquest ha d'ésser diluït i tornat a concentrar amb àcid sulfúric de nou. Això origina dos tipus de contaminants principals: l'àcid sulfúric i el sulfat d'alumini.

L'única tècnica a aplicar avui en dia, totalment provada i contrastada, és la utilització de resines de bescanvi iònic o de retard iònic, que permeten separar l'alumini de l'àcid sulfúric, que pot tornar al tanc de treball.

Electropoliment

Els processos d'electropoliment de l'acer inoxidable es basen en la utilització d'àcids minerals concentrats. Actualment no existeixen processos alternatius menys contaminants. Tanmateix els corrents residuals generats, tant per tipus de compostos com per volum, no representa un problema tècnic difícil de resoldre.

Les mesures a proposar estan basades en la millora dels sistemes de depuració mitjançant la neutralització dels efluent generats amb hidròxid càlcic. Aquest tractament permetrà reduir tant la contaminació per metalls pesants (ferro, crom, níquel, etc.) com la presència d'anions indesitjats (sulfats i fosfats).

3.1.2 Bones pràctiques

3.1.2.1 Allargament de la vida dels banys

L'industrial del sector de tractament de superfícies ha de considerar, de forma reflexiva, els banys de procés de què disposa i, d'acord amb l'evolució tècnica dels fabricants, decidir si els que fa servir són els més adequats a les seves necessitats, o no. En aquesta anàlisi ha de considerar:

- la gamma tecnològica (successió d'operacions a realitzar),
- el tipus de bany a emprar.

Un cop que el tipus de bany ha estat decidit, tenint en compte també la problemàtica ambiental que pugui portar implícita, ha de tenir en compte els aspectes clau següents en la gestió dels banys:

- Escollir les concentracions en sals el més baixes possible i compatibles amb els objectius pretesos quant a acabats.
- Els ajustaments en sals de productes s'hauran de fer, sota criteris objectius, segons el consum elèctric en el procés (com més amperatge, més consum de sals) i segons analíti-

ques periòdiques de la concentració dels banys. Dins de les analítiques a realitzar, cal fer les següents com a fonamentals:

- cianurs lliures, carbonats;
- acidesa total i lliure;
- alcalinitat total i lliure;
- pH, clorurs ...;
- determinats metalls: Ni, Cu, Cr⁶⁺ ...
- Per a cada bany, es recomana disposar de la seva fitxa de control, on quedin reflectides les informacions següents:
 - fórmula constitutiva del bany;
 - resultats de les anàlisis;
 - ajustaments efectuats;
 - operacions de manteniment dels banys.
- Pel que fa al manteniment dels banys, podem apuntar els següents com a genèrics:
 - filtració sobre carbó actiu;
 - oxidació amb peròxid d'hidrogen;
 - precipitació d'impureses i filtració posterior;
 - eliminació regular de peces i estris que caiguin dins del bany de procés;
 - eliminació d'impureses sobre càtodes inerts (per exemple, d'acer inoxidable), especialment per a metalls indesitjables que contaminin el bany;
 - retirada dels ànodes quan el bany no s'utilitza.
- A l'apartat 3.2.1, es detalla com allargar la vida dels dos banys de procés que amb més freqüència s'han de buidar i formular de nou: el desgreixatge i el decapatge.

3.1.2.2 Reducció d'arrossegaments

Com ja s'ha vist anteriorment, l'arrossegament és la quantitat de líquid que s'extreu involuntàriament d'una cuba amb l'operació d'extracció de les peces entre dues etapes de procés galvànic qualsevol. Normalment, es mesura en litres/hora (l/h), encara que també es pot mesurar en funció de la producció (l/dm², per exemple).

Es tracta de la font més significativa de pèrdua de matèries primeres procedents dels banys de procés i de contaminació de les aigües de rentatge.⁶ Es pot afirmar que el volum de fang generat és directament proporcional al nivell de contaminació de l'aigua de rentatge contaminada, això és, al nivell d'arrossegament que té lloc.

Malgrat tot l'esmentat fins ara, cal indicar que l'arrossegament no tan sols suposa aspectes negatius per a l'empresa (consum d'aigua de rentatge, pèrdua de matèries primeres i generació de contaminants); també presenta un aspecte beneficiós: l'arrossegament, igual com s'empor-

⁶ De fet, l'arrossegament es considera el causant de la major part de generació de residus a causa del tractament d'aigua necessari.

ta matèries primeres del bany, també s'endú possibles contaminants presents en ell, i amb això provoca un efecte de dilució. En efecte, un cas típic és la presència d'impureses en els ànodes i que acaben passant al bany contaminant-lo. L'arrossegament permet mantenir la concentració d'aquestes impureses en un nivell tal que no afecta la vida i el funcionament del bany.

És fonamental, arribats en aquest punt, tornar a relacionar el concepte d'arrossegament amb el de "necessitat de rentatge" o, "raó de rentatge" o, "qualitat de rentatge", entenent com a tal el *nombre de vegades que el líquid arrossegat amb les peces ha de ser diluït en el procés de rentatge perquè la qualitat final del procés no es vegi afectada*. Aquest concepte ens dóna una mesura quantitativa de l'eficàcia del procés de rentatge. Aquest paràmetre està inversament relacionat amb el concepte d'arrossegament, segons l'expressió:

$$C_0 / Cr = Q / q$$

on:

C₀ = concentració inicial del bany

Cr = concentració mitjana del bany a l'aigua de rentatge

q = arrossegament (l/h)

Q = cabal d'aigua de rentatge (l/h)

Tenint en compte l'expressió anterior, és fàcil determinar com es pot estimar l'arrossegament. Empíricament, l'industrial pot determinar-lo aplicant l'expressió següent, derivada de l'anterior:

$$q = Cr / C_0 \cdot I / t$$

on, en aquest cas:

C₀ i **Cr** són els mateixos factors que en el cas anterior.

I: volum de la cuba de rentatge

t: temps en hores

Per tant, cal que l'industrial faci analítiques per determinar alguna espècie química que tan sols s'elimini per arrossegament i ens pugui servir per introduir-la en la darrera expressió i poder, així, determinar l'arrossegament provocat per l'activitat a l'empresa.

Aquests dos conceptes que hem tractat fins ara, *arrossegament* i *qualitat de rentatge*, com es desprèn de tot el que s'ha comentat, són clau i, malauradament, desconeguts o indeterminats en algunes de les empreses del sector. Com no es coneix l'arrossegament que es provoca en l'operació productiva i com tampoc es determina la qualitat de rentatge que hom necessita, ens trobem, per tant, amb cabals de rentatge molt superiors als necessaris (amb tot el que això suposa, com s'ha dit) o, en pocs casos, cabals de rentatge insuficients i, conseqüentment, contaminacions entre banys i acabat final de les peces defectuós o de baixa qualitat.

Queda clara, doncs, la importància d'establir el *qualitat de rentatge* o *raó de dilució (Rd)* per aportar alternatives reals de minimització al sector.

La mitjana de valors acceptables d'arrossegament estàndard és:

- bastidor: 150 ml/m² processat
- tambor: 1-3 l/tambor

El coneixement dels condicionants que contribueixen a l'arrossegament és clau si hom vol reduir-lo. Els principals d'aquests factors són els següents:

1. mida i forma de les peces,
2. viscositat i concentració química del bany,
3. tensió superficial del bany,
4. temperatura del bany,
5. forma de treballar.

Amb tots aquests factors, podem establir que l'arrossegament és directament proporcional a la superfície de la peça i a la viscositat, concentració i tensió superficial del bany, i inversament proporcional a la temperatura i densitat del bany.

Un cop determinats els factors que afavoreixen l'arrossegament, serà més senzill abordar el concepte fonamental de *minimització de l'arrossegament*.

Existeixen diverses tècniques i mètodes per reduir-lo de forma molt significativa i eficaç. Alguns d'aquests sistemes no representen cap cost addicional per a l'empresa, ja que poden suposar tan sols treballar en condicions diferents; en tot cas, les inversions requerides solen ser petites i, per contra, aportacionen uns nivells de reducció en l'arrossegament grans.⁷ En certs casos, altres factors poden dificultar la implantació de la mesura; per exemple, condicionants de procés o manca d'espai.

Les alternatives que proposem a continuació hem procurat que siguin el més exhaustives possible, i s'expliquen amb cert detall per establir clarament la seva importància; estan ordenades pel nivell d'inversió requerit, començant per les de menor quantia:

—*Mantenir el bany a la mínima concentració possible*, ja que aconseguim reduir-ne la viscositat.

En general, el proveïdor del bany recomana concentracions superiors a les realment necessàries, per assegurar la qualitat de l'acabat final i obtenir el màxim rendiment.

És molt important que l'empresa, de forma empírica, estableixi la mínima concentració possible de treball dels seus banys, per exemple, a base d'anar reduint-la mitjançant l'addició de bany més diluït, fins que comenci a detectar que aquest ja no opera adequadament. En aquest punt, l'empresa pot identificar la concentració òptima del bany de procés que ofereix l'adequada qualitat final del producte.

—*Treballar a la màxima temperatura possible del bany*, provocar també una disminució de la seva viscositat i afavorir el drenatge de líquid. Amb aquesta mesura, també s'incrementa el rang d'evaporació del bany, la qual cosa permet la introducció de rentatges estancs de recuperació que contribueixen especialment a la reducció de l'arrossegament, com veurem més endavant.

Cal controlar, però, que el líquid mullant que surt amb la peça no s'assequi a la seva superfície i formi dipòsits que afectin la qualitat del procés.

⁷ Grans reduccions en els costos de l'empresa, per tant.

—*Addició d'agents humectants*, per reduir la tensió superficial del bany. Aquesta mesura pot reduir l'arrossegament fins a un 50%.

Hi ha industrials, però, que prefereixen no usar aquests productes perquè formen escuma en el bany i embruten la peça en extreure-la. En tot cas, cal indicar que el seu ús ha de ser avaluat segons les característiques pròpies del bany i de l'acabat final que es pretén.

—*Incorporació de sistemes de bufatge*, que actuen sobre el bany i afavoreixen el drenatge del líquid atrapat per les peces.

—*Introducció de sistemes de vibració*, també amb el bastidor a sobre del bany, que possibiliten també un major drenatge del líquid.

—*Utilització de mecanismes de rentatge per esprai*, a sobre del propi bany de procés, especialment indicat en aquells que treballen en calent. A l'efecte de rentatge de l'aigua, cal afegir l'efecte mecànic de l'esprai.

Per altra banda, en efectuar un primer rentatge a sobre del bany, retornem a aquest la major part del líquid arrossegat per la peça (fins a un 50%). L'únic condicionant que presenta el sistema és, com s'ha dit, que el bany operi a certa temperatura (>40 °C) perquè l'evaporació que té lloc la podem compensar amb el rentatge per aspersion a sobre del propi bany.

—*Incorporació de tapajuntes* entre la cuba del bany i la del rentatge posterior. Si aquest element té la inclinació adequada cap al bany, podem retornar a aquest tot el degoteig que té lloc, procedent de les peces, entre cubes.

—*Introducció de sistemes de succió de líquid en tambors*. Es tracta d'aplicar una petita pressió negativa al tambor per recuperar el líquid que hi conté. Aquesta mesura, no gaire implantada, permet reduir sobre un 30% les pèrdues per arrossegament.

—*Elecció dels bastidors*. En alguns casos, els bastidors poden representar una superfície superior a la de les peces tractades. Serà necessari, doncs, fer un estudi profund de la forma i estructura d'aquests bastidors, de manera que s'obtingui la menor superfície possible.

En qualsevol cas, els bastidors plastificats presenten una superfície hidròfoba i, per tant, arrossegaran molta menys quantitat de solució que els bastidors metàl·lics.

—*Rentatges estancs de recuperació*, són, amb molta probabilitat, de les alternatives més eficients per reduir l'arrossegament cap a les aigües de rentatge, i permeten alhora recuperar les matèries primeres de nou cap al bany originari.

Per altra banda, de forma indirecta, permeten la reducció del cabal de renovació d'aigua del rentatge posterior: si, posem per cas, el rentatge estanc té el 20% de la concentració del bany, el cabal de rentatge posterior pot ser dividit per 5. El mètode consisteix a intercalar un o més rentatges d'aigua estancs entre la posició del bany de procés i els rentatges posteriors.

L'aigua d'aquest rentatge, preferiblement, ha de ser destil·lada, ja que l'aigua de xarxa, com conté sals, pot acabar contaminant el bany.

En tractar-se d'un rentatge estanc, una altra recomanació interessant a fer, és el fet d'agitar per aire o mecànicament el rentatge, per incrementar la seva eficiència.

El rentatge es va concentrant en sals procedents del bany de procés i, a determinada concentració, per terme mitjà el 20% de la del bany, es retira una part d'aquest líquid i s'introdueix de nou al bany de procés del que procedeixen les sals. Aquest volum ve determinat pel rang d'evaporació del bany. D'aquesta forma, igual com succeeix amb els rentatges per esprai, cal que el bany operi a certa temperatura, també aquí superior als 40 °C, perquè el sistema es pugui aplicar.

Algunes empreses tenen dificultats per utilitzar rentatges estancs de recuperació, pel risc de contaminar el bany.⁸ També pot succeir que, en determinats banys de procés, alguns dels components es desestabilitzin quan es troben diluïts, i alterin la composició química del bany inicial; aquest és el cas de banys de níquel i coure químic. També pot ser que es contaminei el rentatge estanc quan, accidentalment, un operari hi renti peces procedents d'un altre bany de procés (contaminació creuada entre banys). En tot cas, si el risc és de contaminació amb impureses o metalls, hi ha la possibilitat de "depurar" el rentatge estanc abans de retornar-lo al bany mitjançant, per exemple, resines de bescanvi iònic. Malgrat tot, la importància del sistema és tal que, un cop estudiat el cas concret, cal introduir-lo sempre que es pugui.

Una variant molt interessant del sistema, amb unes clares repercussions de reducció de l'arrossegament, és la possibilitat de combinar dos, o fins i tot tres, rentatges estancs "en cascada"; això és, connectats entre si. Aquesta disposició es converteix en un sistema de rentatges corrents en cascada (veure apartat 2.3.4), que té un cabal prou petit com per poder ser directament reciclat en continu cap al bany de procés. El sistema permet el màxim de recuperació de matèries primeres i de reducció, per tant, de l'arrossegament. Si un rentatge estanc pot assolir un nivell de reducció de l'arrossegament d'un 70%, dues recuperacions consecutives poden arribar fins a un 90% de reducció de pèrdues per arrossegament.

—*Rentatge ECO*. Es tracta també, com en el cas anterior, d'un rentatge estanc en què les peces són submergides abans i després del bany de tractament. A diferència del rentatge de recuperació que es va buidant paulatinament per compensar les pèrdues per evaporació del bany, en el cas del rentatge ECO aquest no es buida mai, la seva concentració s'estabilitza al 50% de la del bany. La concentració de l'arrossegament és, per tant, la meitat de la inicial.

La seva aplicació es dona en banys que treballen a poca temperatura (<40 °C). No és recomanable per als banys de preparació de la superfície (desgreixatges i decapatges) ni finals (passivacions), ja que el contacte de la peça amb una solució relativament concentrada (encara que només sigui el 50%) pot originar l'inici de reaccions perjudicials per a la qualitat del tractament que segueix.

En aquest cas, s'estima que la reducció en l'arrossegament és inferior al rentatge de recuperació i se situa entre el 30 i el 50%. Malgrat tot, els mateixos avantatges mediambientals del rentatge estanc de recuperació són atribuïbles al rentatge ECO.

Finalment, cal dir que, tant en el cas del rentatge de recuperació com amb l'ECO, cal respectar els principis del bon rentatge:

⁸ Abans comentàvem que l'arrossegament té un factor positiu en diluir la possible contaminació del bany aportada per agents externs (impureses dels ànodes, despreniment de metalls de la superfície de les peces que s'estan operant, etc.).

1. Moviment relatiu turbulent entre la peça i l'aigua.
2. Temps adequat de contacte entre la peça i l'aigua.
3. Presència d'aigua suficient durant el temps de contacte.

—*Posició de les peces al bastidor.* Cal col·locar-les de forma que es faciliti el seu buidatge en sortir del bany i s'eviti la formació de zones on el líquid quedi atrapat. En aquest sentit, cal indicar que les peces s'han de col·locar preferentment planes, ja que així es reduirà el gruix de la pel·lícula de líquid que s'arrossega en extreure les peces.

Cal evitar, sempre que sigui possible, col·locar una peça a sobre d'una altra, per evitar que l'escorreguda d'una peça superior no caigui a sobre d'una inferior. En aquest aspecte té molta importància el disseny del bastidor escollit per a la feina en qüestió.

És important també que l'operari inclini adequadament el bastidor en sortir del bany, per afavorir el buidatge.

En el cas de tambor, el seu disseny també és fonamental de cara a afavorir el drenatge de líquid que s'arrossega del bany: forats el més grans possible i que no arribin fins als marges, en el cas de tambors polièdrics (ja que quedaria líquid atrapat en les costelles del tambor).

—*Velocitat d'extracció de les peces del bany,* que ha de ser lenta: com més ràpid es treu la peça, major és el gruix de la pel·lícula de líquid mullant.

Cal que els encarregats de planta eduquin i supervisin els operaris en aquest sentit.

—*Temps d'escorreguda.* Cal que sigui el màxim possible, tot evitant l'assecatge del líquid a la superfície de les peces o la possibilitat de "passivacions" de la superfície.

Per facilitar aquesta tasca, és útil col·locar barres penja-bastidors (molt pràctiques sobretot quan el pes a suportar és considerable), en el cas de línies manuals.

Està comprovat que el temps d'escorreguda no presenta aquests problemes sobre els banys de pretractament (desgreixatges i decapatges); en aquests casos, l'operari pot tornar a operar amb el bastidor un cop aquest ha degotat tot l'arrossegament.

Per a tambors, a més del temps d'escorreguda és important fer-lo girar 90°, i portar-ne un bon manteniment per evitar el tancament dels orificis. Els bastidors també és important que es trobin en un bon estat, ja que, en cas contrari, pot quedar líquid retingut a l'interior d'esquerdes i forats.

Els valors mitjans estàndards de temps d'escorreguda són:

- per a bastidors: 10 s,
- per a tambors: 20 s.

Per finalitzar aquest apartat tan important en les possibilitats de prevenir en origen la contaminació generada en el tractament de superfície, es pot concloure:

1. *L'arrossegament és la principal font de generació de corrents residuals* en el sector de banys galvànics, i suposa alhora una pèrdua de matèries primeres i aigua. Hauria de ser, per tant, objecte d'una anàlisi a fons per a cada empresa en concret i el concepte principal sobre el qual l'empresa hauria de *centrar els seus esforços per reduir els corrents residuals* generats.

2. La gran majoria d'empreses desconeixen quin és l'arrossegament mitjà que provoquen, així com quin és el *qualitat de rentatge necessari* (també anomenat raó de dilució, *Rd*) per al seu cas particular.
3. Alhora, la majoria d'empreses desconeixen quins *factors contribueixen a minimitzar l'arrossegament*, amb la qual cosa *no actuen* sobre ell.
4. Existeix un *bon nombre d'alternatives i d'opcions per minimitzar l'arrossegament*, la majoria de les quals o bé no suposen cap cost d'inversió per a l'empresa o bé és suficientment baix com perquè el període de retorn sigui molt curt, tenint en compte la important reducció de cost en compres de matèries primeres, consum d'aigua i tractament i gestió de residus.

3.1.2.3 Millores en les esbandides i els rentatges

Amb tots els conceptes descrits en l'apartat 2.3 corresponent als sistemes de rentatge, ens trobem en condicions d'analitzar els diferents mètodes per reduir el consum d'aigua a la planta galvànica.

Caldrà, per tant, que l'industrial estigui en condicions de definir l'estructura òptima dels seus rentatges, tenint en compte els principals paràmetres d'elecció.

Els mitjans a l'abast de l'industrial per reduir el consum d'aigua són els següents:

—*Racionalització de rentatges*, elecció dels sistemes de rentatge.

a) Rentatge simple

Es tracta, d'entre tots, del pitjor sistema de rentatge de què pot disposar l'empresa i, tot i així, és gairebé el més extens dins del sector.

Consisteix, com ja hem vist, a disposar d'una sola cuba de rentatge d'aigua corrent després del bany de tractament. En aquest cas, el cabal d'aigua de rentatge, per a determinada raó de dilució (*Rd*), és:

$$Q = q Rd$$

En general, es pot afirmar que el cabal (*Q*) de rentatge necessari per assegurar una raó de dilució satisfactòria és molt elevat si el comparem amb altres possibilitats.

b) Rentatge doble (i múltiple) en paral·lel

El trobem en aquell cas en el qual cada cuba de rentatge després del bany (dos o més) està alimentada per separat (en paral·lel). En aquest cas, l'expressió matemàtica que determina el cabal de rentatge ve donada per la següent:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = n q \sqrt{Rd}$$

on *n* = nombre de cubes de rentatge.

No és un sistema gaire utilitzat ja que, per al mateix nombre de cubes de rentatge, amb el sistema següent s'obté una reducció molt més gran del cabal d'aigua de rentatge necessari per a una mateixa raó de dilució.

c) Rentatge doble (i múltiple) en sèrie (cascada)

Es tracta dels millors sistemes de rentatge disponibles. El sistema consisteix a fer entrar aigua neta corrent per la darrera posició del sistema de rentatge i passar-la en cascada fins a la primera cuba. Les peces a rentar fan el sentit contrari, és a dir, a contracorrent. A diferència del cas anterior, només tenim una alimentació d'aigua neta (a la darrera cuba).

En aquest cas, el cabal d'aigua necessari ve donat per:

$$Q = q \cdot n \cdot \sqrt{Rd}$$

on, aquí també, n correspon al nombre de cubes de rentatge que componen el sistema.

En aquest cas, l'estalvi que s'obté en el consum d'aigua gràcies a l'increment del nombre de cubes (n) és important. A la taula següent es faciliten alguns consums d'aigua segons el nombre de cubes en cascada, per a un exemple concret. Es pot apreciar la important reducció del cabal a mesura que s'incrementa el nombre de rentatges:

Taula 7

Sistema de rentatge	Cabal de rentatge Q (l/h)
Rentatge simple	10.000
Doble rentatge en cascada	220
Triple rentatge en cascada	65

Suposant:

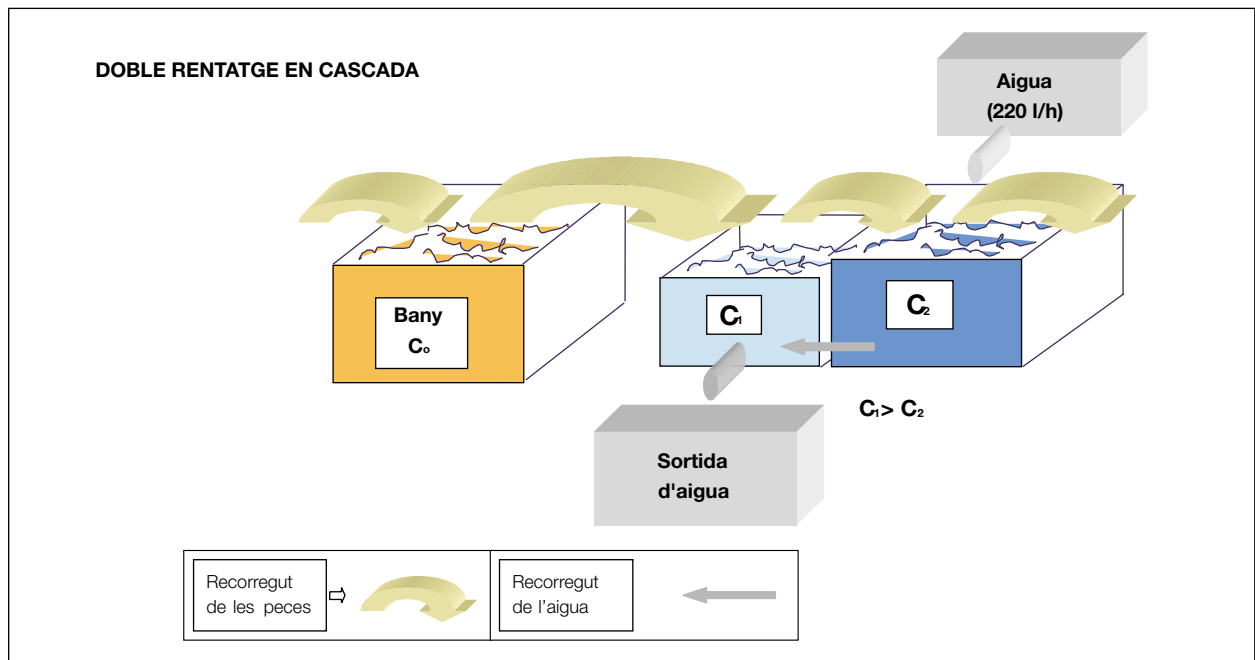
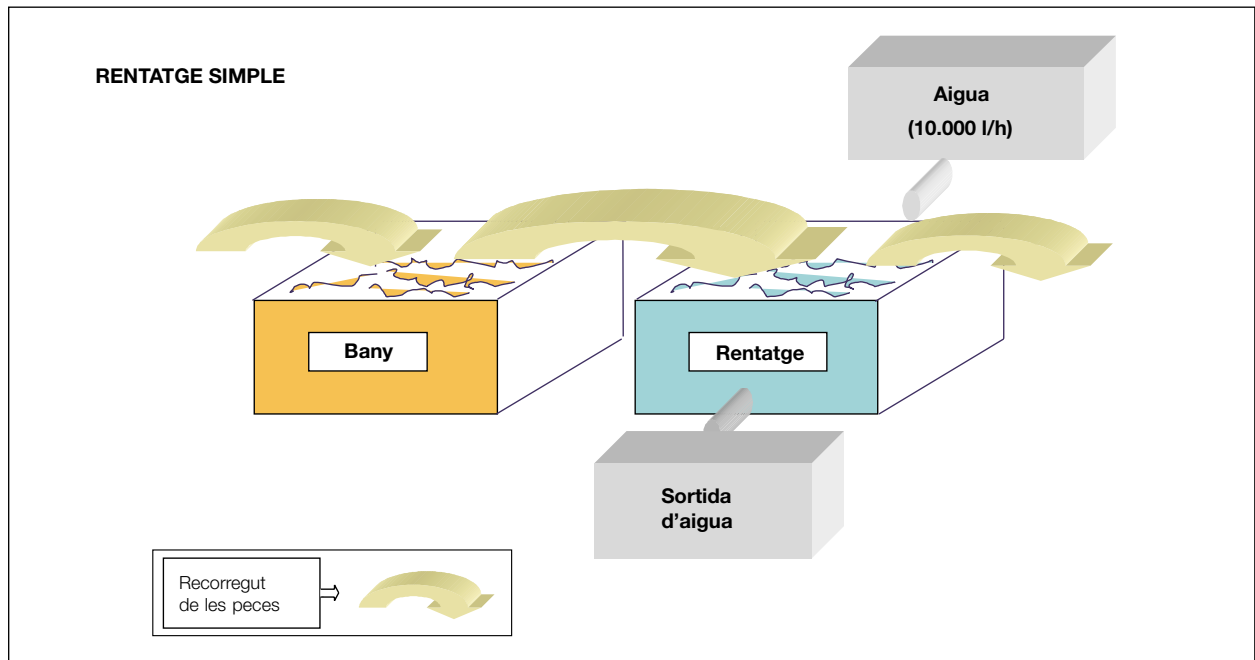
arrossegament (q) = 5 l/h

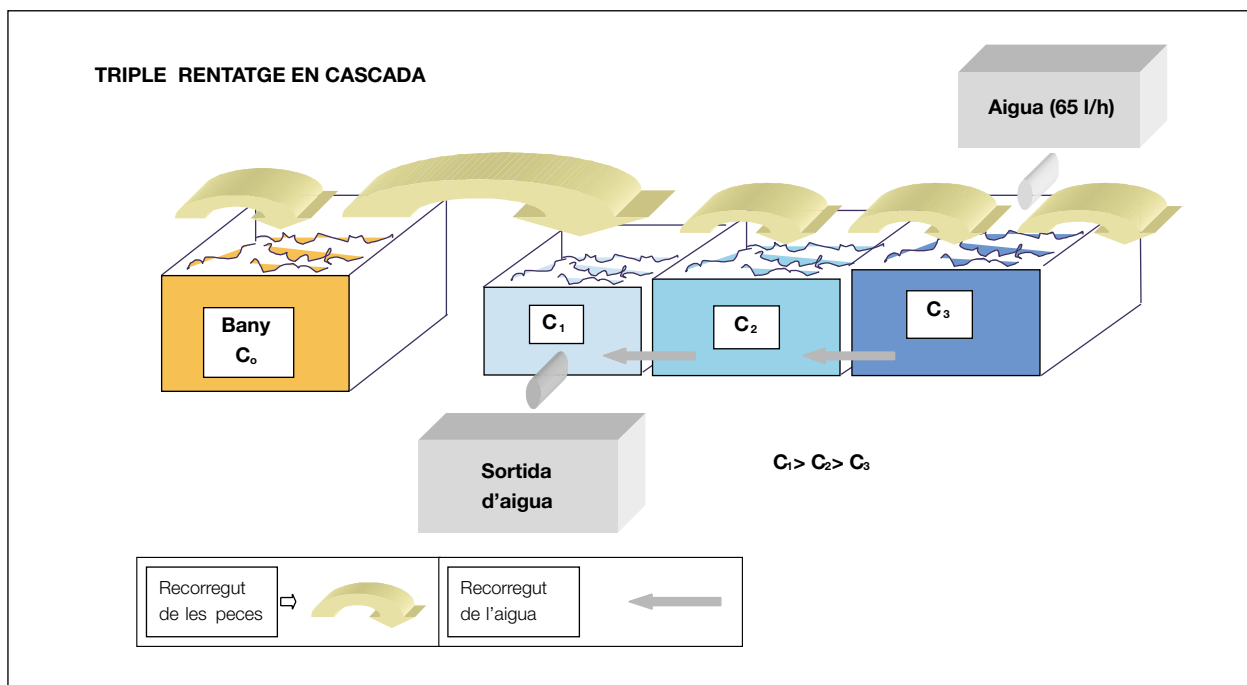
raó de dilució (Rd) = 2000

Aquest exemple mostra la importància d'una racionalització dels rentatges, permetent:

1. consumir menys aigua per a una mateixa raó de dilució,
2. reduir, d'aquesta forma, els costos de consum d'aigua i de depuració,
3. incrementar la qualitat del rentatge sense haver d'augmentar el consum d'aigua.

Gràficament seria:





d) Rentatge estanc

Es tracta d'un rentatge sense renovació que permet retenir una bona part de l'arrossegament procedent del bany de procés. Per tant, a més de reduir les necessitats de rentatge posteriors i el consum d'aigua, possibilita la recuperació de sals del bany.

Malgrat ser estanc, per evitar la seva progressiva concentració en sals que provenen del bany de procés, s'ha de procedir periòdicament a la seva renovació. En el cas que el bany precedent treballi en calent (a més de 50 °C), aquesta renovació serveix per reintroduir-hi les pèrdues d'aigua per evaporació i d'aigua i sals per arrossegament.

Valors de concentració del rentatge estanc d'entre 10-20% la concentració del bany precedent, són perfectament admissibles per a aquesta doble funció de la cuba.

Una estructura molt efectiva és la de mantenir dos o més rentatges estancs connectats en cascada i fer retornar el líquid recuperat cap al bany del qual procedeix. D'aquesta forma, es pot recuperar el màxim de producte de manera senzilla. En aquest cas, s'ha de procurar que el cabal d'entrada d'aigua a la darrera posició de cuba sigui igual al cabal d'evaporació del bany de procés.

Aquesta recuperació de producte serà superior si l'evaporació del bany és més gran o si hi ha més rentatges estancs connectats en cascada.

A la taula següent s'exposa un exemple comparatiu amb aquesta casuística:

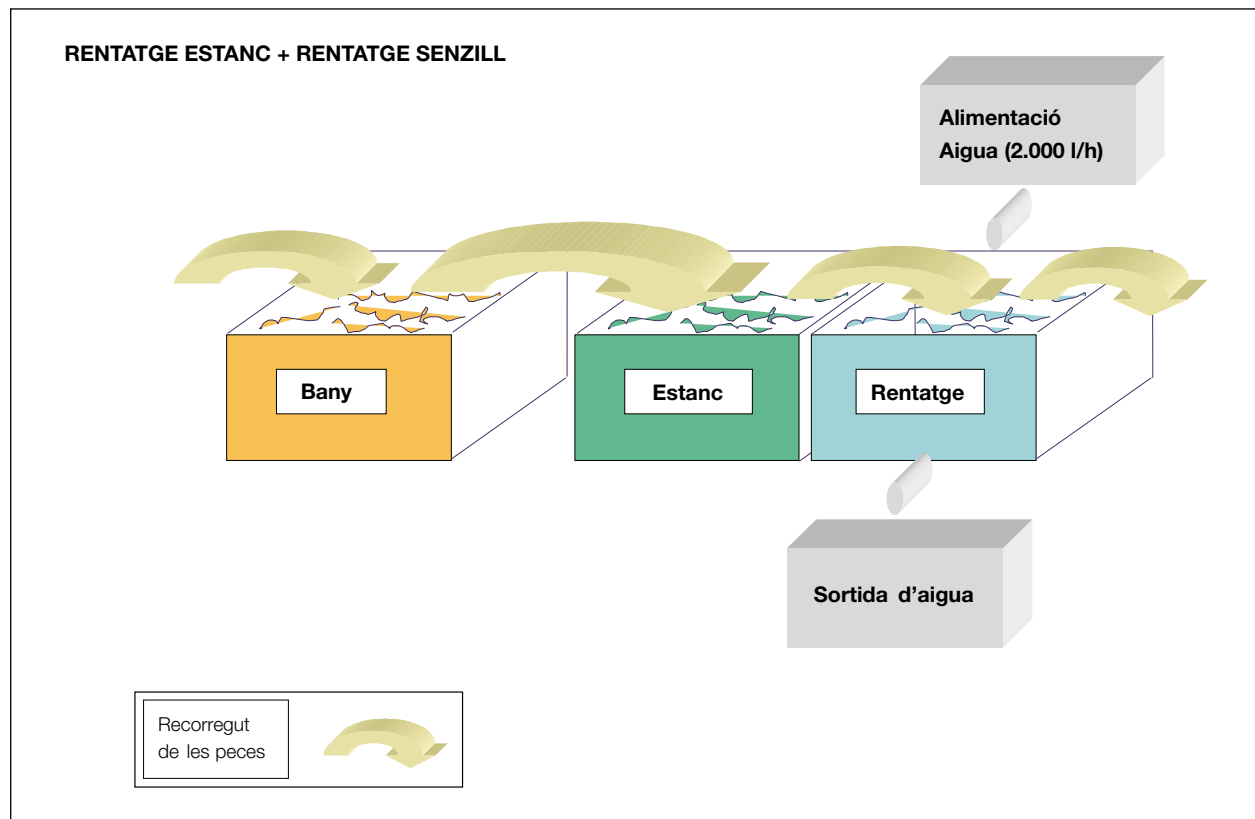
Taula 8

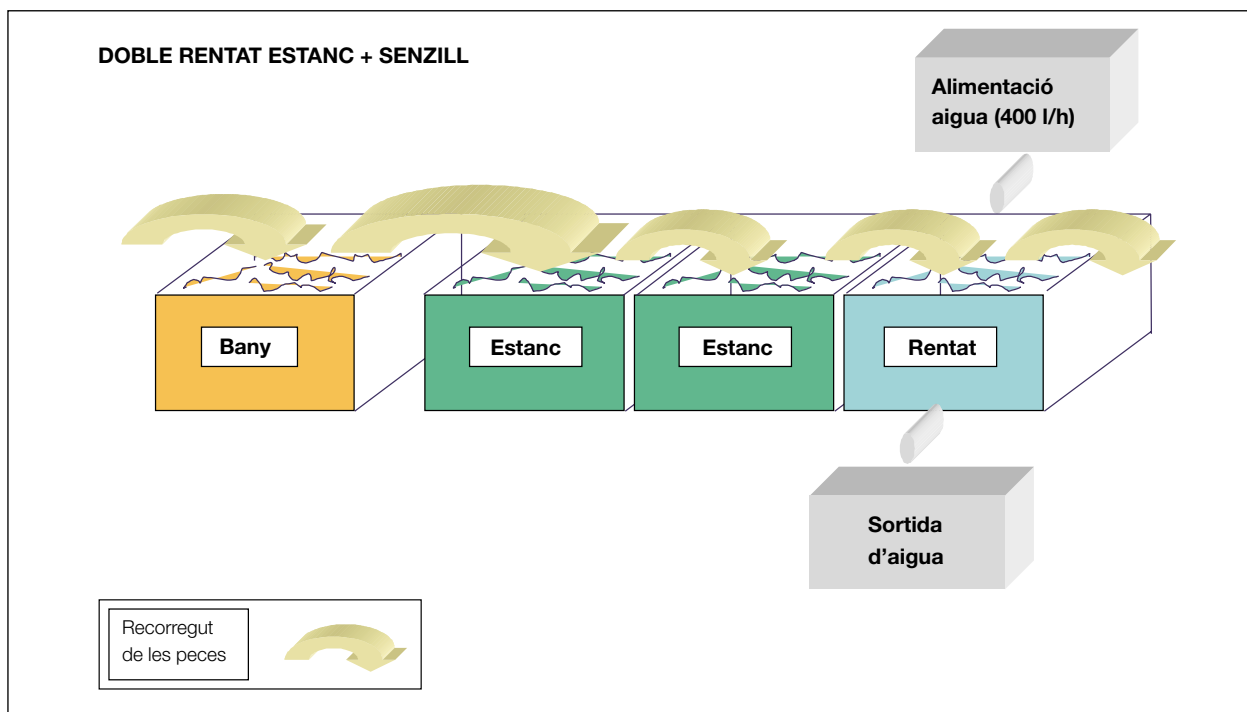
Sistema de rentatge	Cabal de rentatge Q (l/h)
Rentatge simple	10.000
Rentatge estanc. + rentatge senzill	2.000
Doble rentatge estanc + senzill	400

Suposant:

arrossegament (q) = 10 l/h

raó de dilució (Rd) = 1000





e) Rentatge ECO

El rentatge ECO és també un rentatge estanc en què les peces són submergides abans i després del bany de tractament. No es buida mai (ni parcialment), i la seva concentració s'estabilitza a la meitat de la del bany de procés procedent. D'aquesta forma, s'aconsegueix una concentració en l'arrossegament la meitat de la inicial. Tampoc no implica variació del volum de la cuba, ja que s'aplica habitualment a banys freds o poc calents (<40 °C).

Malgrat aquests avantatges, no és recomanable aplicar-lo als banys de preparació (desgreixatges i decapatges) o de final (passivació), com tampoc als banys de procés químic (coure o níquel químic), ja que en trobar-se aquest rentatge a una concentració la meitat de la del bany, poden originar-se reaccions amb la superfície de la peça que podrien perjudicar la qualitat del tractament posterior.

Els rentatges ECO permeten:

- recuperar matèries primeres,
- limitar els arrossegaments (en teoria entre el 30 i 50%),
- per tant, reduir el consum d'aigua de rentatge posterior.

f) Rentatge per aspersion

Consisteix a projectar una fina boira d'aigua de rentatge directament sobre les peces que surten del bany de procés, ja sigui directament a sobre del bany (si treballa en calent), com sobre una cuba buida i, fins i tot, a sobre del rentatge posterior.

Com a avantatges, el sistema presenta els següents:

1. Reducció del consum d'aigua de rentatge. Un rentatge per aspersió és com un en cascada.
2. Millora de la qualitat de rentatge gràcies a l'efecte hidromecànic de les gotes de l'aigua que impacten amb la superfície de la peça a rentar.
3. Possibilitat de recuperar sals, en el cas de banys a temperatura, en fer un primer rentatge a sobre de la cuba de procés.

La neteja per aspersió presenta, com veiem, importants avantatges quant a l'eficàcia i l'economia de l'aigua. Tanmateix, l'ús de les esbandides per aspersió planteja alguns problemes a tenir en compte:

- Instal·lació complicada i manteniment considerable.
- Necessitat d'aigua de qualitat.
- Perill de formació d'aerosol que pot afectar la seguretat en el treball.

Per concloure aquest punt, indicarem els paràmetres que l'industrial galvànic ha de considerar a l'hora de definir el seu sistema de rentatges:

- qualitat de rentatge desitjada per a cada posició: determinació de la raó de dilució (Rd);
- disponibilitat d'aigua i cabals d'entrada (Q);
- concentració dels banys i naturalesa de la seva composició;
- cabal d'arrossegament estimat (q);
- capacitat per recuperar l'arrossegament cap als banys;
- espai disponible en el taller;
- condicionants operatius a planta;
- límits d'abocament a complir.

—*Altres mètodes per reduir el consum d'aigua:*

a) Reducció del consum desmesurat

En determinades ocasions, s'observa que molts tallers galvànics tenen un consum d'aigua extraordinàriament elevat, no justificable amb les necessitats òptimes de rentatge. Entre les principals raons d'aquest consum desmesurat, podem citar les següents:

- alimentació d'aigua innecessària en posicions de rentatge, per exemple, sense producció;
- excés de rentatge en determinades posicions per sobre de la raó de dilució;
- rentatges excessius de cubes, bidons, instal·lacions, terres, etc.;
- pèrdues diverses: aixetes mal tancades, fuites, etc.

La importància d'aquest consum pot situar-se, en alguns casos, fins al 40-50% del consum total d'aigua de l'empresa.

Com a alternatives de minimització, es poden aportar les següents:

- col·locació d'electrovàlvules que tanquin l'alimentació d'aigua si no hi ha procés, ja sigui per mesura de la conductivitat de l'aigua com per temporitzadors;

- rentar instal·lacions i equipaments amb mitjans a pressió, reutilització d'aigua de segons rentatges per als primers rentatges, etc.;
- correcte manteniment d'instal·lacions, control i supervisió, formació del personal, etc.

d) Millora de la qualitat de rentatge

Un cop escollida l'estructura de rentatges, encara es pot millorar la qualitat del rentatge de manera significativa, per exemple:

- reduint el volum i la concentració dels arrossegaments;
- escalfant determinats rentatges;
- introduint sistemes d'agitació al rentatge;
- utilitzant aigua de molt bona qualitat per a aquells rentatges crítics i per a alguns rentatges finals.

De fet, a l'hora de millorar l'eficiència d'un rentatge, cal comptar amb tres estratègies que es poden utilitzar:

- controlar el temps de contacte entre la peça i el sistema de rentatge. És fàcil constatar com, habitualment, aquest temps és inferior al que en realitat es necessita;
- forçar una petita turbulència (mitjançant agitació) de l'aigua de rentatge que provocarà un rentatge més eficient;
- procurar disposar de suficient volum d'aigua durant el temps de contacte entre la peça i el sistema de rentatge.

La combinació d'aquestes tres estratègies augmenta, de manera considerable, l'eficiència de les operacions de rentatge i contribueix a una disminució de la quantitat d'aigua necessària.

c) Reutilització de determinades aigües

Una altra possibilitat, poc utilitzada pels industrials, és la de reutilitzar les aigües de determinats rentatges, per exemple, per a una altra posició de rentatge que sigui compatible amb la primera. Amb aquesta senzilla mesura es pot arribar a reduir a la meitat el consum d'aigua de les dues posicions de rentatge. Cal, però, assegurar-se de la compatibilitat entre banys.

Com a exemples, podem aportar els següents:

- un segon rentatge després d'un desgreixatge es pot reutilitzar per a un rentatge després d'un decapatge àcid o alcalí; o a la inversa;
- un rentatge posterior a una activació (passivació o neutralització) es pot fer servir com a rentatge després del pretractament;
- un rentatge posterior a una passivació cròmica de zinc es pot reutilitzar per a un rentatge posterior al cromatge (excepte el rentatge final);
- si el procés de depuració d'aigües residuals és correcte, molts cops es pot reutilitzar l'aigua depurada per a diferents rentatges de pretractament (cal vigilar, però, la seva conductivitat per evitar concentracions excessives de sals); també es pot reutilitzar aquesta aigua per a activitats annexes: rentatge de terres i instal·lacions, etc.;
- reutilització de l'aigua de refredament de banys per a rentatges.

Com a precaució general, cal dir que abans de prendre la decisió de reutilitzar determinat tipus d'aigua, s'han d'examinar els condicionants que determinen el seu ús.

3.1.2.4 Bones pràctiques genèriques

Algunes de les recomanacions en el camp de bones pràctiques professionals ja s'han anat detallant a mesura que es proposaven millores per reduir consums d'aigua, o minimitzar l'arrossegament. Les recomanacions que es descriuen ara són més genèriques i afecten moltes altres activitats de l'empresa. Les bones pràctiques ambientals són de tipus integral, ja que actuen alhora sobre diversos corrents residuals.

Normalment, es tracta de mesures sense cap cost econòmic (almenys directe), o suposen un cost petit, i que tenen una repercussió molt favorable en la reducció del consum de matèries primeres, de la generació de corrents residuals, i milloren molt el control i la gestió global de determinades àrees de l'empresa.

Les mesures de bones pràctiques professionals per a l'empresa es concreten, ordenades segons el seu camp d'aplicació, en:

—*Emmagatzematge de matèries i residus.*

Un emmagatzematge deficient dels materials és una font potencial d'obtenció de residus, com ara són la generació de productes caducats, un major risc de vessaments de materials, etc., alhora i suposa un perill i un risc per als propis treballadors.

Tots els processos desenvolupats per l'empresa inclouen l'emmagatzematge de primeres matèries, productes, subproductes i residus, i la seva transferència d'una zona de la fàbrica a una altra. El correcte emmagatzematge és, per tant, una possibilitat important per minimitzar.

Entre les principals propostes genèriques a recomanar tenim les següents:

- Portar a terme un control normalitzat de l'estat de brutícia (greixos, pols, etc.) de les peces que es recepcionen per ésser tractades electrolíticament, per procurar que arribin el més netes possible.
- Disposar d'àrees separades i adequades d'emmagatzematge per a matèries primeres, productes, subproductes i residus. Aquestes zones han d'estar protegides de les inclemències del temps —llum, pluja, calor, etc.—, per evitar el deteriorament de l'envàs o del producte mateix i disposar d'una solera de formigó hidròfug i un sistema de recollida d'aigües residuals independent del sistema general. La zona en qüestió ha d'estar convenientment senyalitzada i il·luminada.
- Mantenir l'ordre establert en el magatzem i les distàncies entre els materials, per possibilitar la seva accessibilitat i inspecció. Cal, a més, mantenir les distàncies entre els productes químics incompatibles. Els diferents bidons s'hauran d'ordenar d'acord amb llur perillositat i grau d'utilització, i facilitar-ne la càrrega i descàrrega. Tots els materials han d'estar convenientment etiquetats, amb indicatius de les seves característiques i normes especials de manipulació. És interessant, també, emmagatzemar els contenidors d'acord amb les indicacions de l'envasador o fabricant.

- En cas d'apilar materials, posar sempre els líquids a sota dels sòlids i mantenir els recipients sempre ben tancats.
- Netejar les superfícies just abans del seu recobriment electrolític, per evitar que s'embrutin en el període d'emmagatzematge.
- Establir un sistema de gestió d'estocs, segons el sistema FIFO (*first-in-first-out*), que garanteixi que els materials emmagatzemats més antics siguin els primers a tenir sortida.
- Utilitzar recipients de dimensions adequades a l'ús previst i a les característiques del producte, procurant la compra a l'engròs, excepte en aquells materials de vida curta o que no es consumeixen en grans quantitats. Tot plegat pot permetre la reducció del nombre d'envasos així com del material perdut en adherències a les parets del recipient. Així mateix, és preferible utilitzar contenidors reutilitzables, com ara els de polietilè, que poden tornar a ser utilitzats i, a més, són fàcils de transportar i de netejar. Caldrà, però, buidar completament els recipients per reduir la quantitat d'agents de neteja necessaris.
- En el cas particular dels residus, es recomana preveure i adequar una zona específica i diferenciada per al seu emmagatzematge, com s'ha dit anteriorment, amb un nombre de contenidors suficient per possibilitar la seva correcta segregació, segons si són líquids o sòlids, perillosos o inerts; entre els que siguin perillosos, cal la separació segons la seva composició i, finalment, separar els diferents tipus de residus valoritzables (ferralla, plàstic, cartró, paper, etc.) per permetre la seva gestió externa i reduir-ne el volum.

—*Control d'inventaris.*

El control d'inventaris té com a conseqüència fonamental el que l'empresa no tingui més matèries, productes i subproductes a la planta, dels que realment siguin necessaris per alguna justificació o altra. A més de l'espai que ocupa i de la immobilització que suposa, una absència de control d'inventaris pot derivar en una generació de residus que provenen de les matèries primeres i productes innecessaris, caducats o fets malbé, i suposar un doble cost per a l'empresa.

Com a propostes de bones pràctiques podem proposar les següents:

- Definir la freqüència i la responsabilitat pels inventaris.
- Evitar les compres en excés que puguin arribar a caducar i esdevenir un residu.
- Estandarditzar, quan sigui possible, els materials comprats, utilitzant el menor nombre possible de compostos diferents per a un mateix propòsit. Això suposa una reducció del cost de compra i manteniment, simplifica el control d'inventari, millora el seguiment i la utilització dels materials, i pot permetre reduir la quantitat i varietat de residus a gestionar.
- Etiquetar i registrar tots els materials recepcionats, indicant el nom del producte, la data d'entrada en el magatzem i la data de caducitat (si escau). Comprovar, alhora, que el material ve convenientment etiquetat.
- Comprar la quantitat de material estrictament necessària per a cada etapa de producció específica, de forma que no sobri material.
- Controlar tots els materials en rebre'ls i verificar que compleixen amb les especificacions del fabricant i retornar aquells que no ho siguin.

- Seguir les especificacions dels proveïdors i fabricants sobre la utilització, manipulació, emmagatzematge i tractament dels materials recepcionats.
- En el consum de materials, com ja s'ha dit, portar a terme un sistema de gestió FIFO, realitzant una rotació dels contenidors situats al fons dels prestatges cap endavant quan arribi material nou. En tot cas, donar instruccions per escrit i conscienciar els operaris perquè utilitzin primer els productes que caduquen abans.
- Reduir la quantitat d'envasos parcialment plens i promoure, així, la utilització del material sobrant d'operacions anteriors. En aquest sentit, és molt important adequar les dimensions de l'envàs a la quantitat necessària per a cada oportunitat, com també ja s'ha dit anteriorment.

—*Manipulació de materials.*

Durant les operacions de manipulació, transport, transvasament, etc., tant de materials com de residus, s'han d'adoptar una sèrie de mesures per evitar vessaments, fuites, contaminació de materials, etc., que comporten pèrdues i generen corrents residuals. Per exemple, la contaminació d'un residu per causa d'una incorrecta manipulació o segregació pot generar un volum superior de residus, fer disminuir les possibilitats de valoritzar-lo o comportar la seva classificació com a especial.

Entre d'altres, podem recomanar les bones pràctiques següents:

- Les zones de càrrega i descàrrega cal que estiguin ben il·luminades, han d'estar senyalitzades, netes i sense obstacles, especialment les zones de pas.
- Establir procediments escrits per a totes les operacions de càrrega, descàrrega i transvasament, prestant especial atenció al fet físic de la càrrega i la descàrrega: manipulació de palets, bidons, carreta elevadora, transpalets, bombes, etc. És molt recomanable comprovar i inspeccionar els equips a utilitzar —bombes, filtres, juntes, vàlvules— abans de començar qualsevol operació de transvasament, sobretot quan es tracti de productes líquids (per exemple, els banys de desgreixatge).
- Per altra banda, cal preparar també procediments escrits de manteniment i revisió periòdica de l'estat de les instal·lacions utilitzades en la càrrega, descàrrega i transvasament de productes: connexions, juntes, tanques de vàlvules, mànegues, bombes, etc.
- Disposar els dipòsits i recipients de forma que s'eviti el seu trencament i es faciliti la detecció d'esquerdes o de corrosió. Els bidons metàl·lics, per exemple, cal aïllar-los del terra mitjançant palets de fusta per evitar la corrosió per la humitat del terra.
- Utilitzar els recipients seguint les instruccions del fabricant i només per al seu ús original, i assegurar que tots ells reben un programa de control i de manteniment i estan en bones condicions.
- Reservar àrees de contenció impermeables i netes al voltant dels tancs o de les zones d'emmagatzematge que incorporin elements —arquetes o cubetes de retenció— per recollir les possibles fuites. Aquestes àrees han de respectar la separació dels materials segons la seva naturalesa química i perillositat i evitar el contacte amb la xarxa de recollida d'aigües general de la instal·lació.

- Assegurar-se que s'està transvasant el líquid correcte al recipient correcte, per la qual cosa cal observar les normes d'etiquetatge que permetin saber en tot moment el contingut dels bidons emmagatzemats, com ja s'ha dit anteriorment.
- Disposar de sistemes que permetin conèixer en tot moment el volum de líquid en els dipòsits de què disposa l'empresa, evitar d'omplir en excés els dipòsits o recipients i comprovar sempre el nivell del recipient al qual transvasem el líquid, abans d'iniciar l'operació, no sigui que aquest resulti insuficient.
- Preveure, en les zones de transvasament, la instal·lació de sistemes que permetin que els operaris deixin escórrer el temps suficient als elements emprats en l'operació duta a terme, especialment, en les zones de transvasament de líquids. Aquesta escorreguda cal que es realitzi en un recipient que permeti la recuperació del producte.
- En les operacions de transvasament de líquids, procedir amb especial atenció per evitar possibles esquitxos i vessaments i utilitzar els equips de forma adequada (bomba, embut, etc.).
- Evitar moviments innecessaris de materials mitjançant una planificació acurada i un transport de la quantitat adequada al lloc adequat.
- Disposar de forma ràpida dels materials absorbents adequats als productes manipulats normalment per actuar en cas de fuites. Caldrà disposar d'aquests, per tant, prop de les zones de manipulació i estar fàcilment accessibles al personal encarregat de les operacions.

—*Operacions a planta.*

A continuació s'indiquen una sèrie de consells a implantar durant el procés de banys galvànics i totes les altres activitats relacionades, amb l'objectiu també d'evitar la generació de contaminació. Algunes d'aquestes recomanacions ja s'han fet anteriorment:

- Utilització de banys galvànics potencialment menys contaminants, sempre que això sigui tècnicament possible. Començant pels banys de preparació i acabant pels banys de procés, és convenient plantejar-se si la composició o concentració de cada bany pot ser modificada de manera que els corrents residuals generats decreixin i, a més, la qualitat de les peces obtingudes sigui, com a mínim, igual que la que dona el bany substituït.
- Neteja de les peces just abans de procedir al seu tractament superficial, per evitar el seu embrutiment en els períodes d'emmagatzematge.
- Optimitzar la neteja de les peces per reduir la generació de residus i emissions, tot utilitzant la quantitat justa del producte de neteja i allargant al màxim la vida dels banys de preparació.
- Utilització de productes de neteja menys contaminants. En aquest sentit, l'ordre d'elecció del producte de neteja és: aire, aigua, medi abrasiu, dissolució aquosa de detergents, dissolucions alcalines, àcids i, finalment, dissolvents.
- Agitació dels banys per augmentar l'eficàcia de les operacions de neteja, bé sigui per mitjans mecànics com ultrasònics.
- Extracció lenta de les peces dels tancs de preparació i dels de procés, donant temps a un drenatge del líquid en excés cap al tanc.

- Correcta col·locació de les peces en els bastidors, per minimitzar l'arrossegament de matèries primeres.
- Maximitzar, tant com sigui possible, el temps d'escorreguda de les peces. Aquest és un punt important que, sovint, s'oblida. Recomanem un temps d'escorreguda mínim de deu segons per a bastidors.
- Assegurar el buidatge de les peces durant el temps d'escorreguda. Si és convenient, cal realitzar diferents moviments vibratoris amb els bastidors, acabats de treure dels banys, per facilitar el buidatge del líquid que puguin haver retingut les peces.
- Instal·lació de tapajuntes per recollir el líquid que degota a les peces en extreure-les dels tancs corresponents.
- En la recuperació de peces defectuoses cal aplicar, en primer lloc, sistemes mecànics de neteja, abans de procedir als sistemes químics.
- Portar un control normalitzat de l'estat de les peces després del procés de neteja i preparació, per reduir el nombre de peces defectuoses que es processen.
- Quant als treballadors, informar-los sobre la importància de reduir la contaminació ambiental i la necessitat d'utilitzar els sistemes de protecció personal idonis: ús de mascaretes, cascs o taps auditius, ulleres i guants.
- Formació professional adequada dels operaris encarregats de les línies productives, perquè es dugui a terme una operació amb coneixement professional.
- Deixar escórrer bé els pots i bidons de productes.
- Conèixer la composició dels productes que s'utilitzen a l'empresa i els possibles components nocius. En aquest sentit, és molt important sol·licitar i mantenir actualitzats els fulls de seguretat dels productes.
- Calcular bé la quantitat de primera matèria necessària per a cada tasca i procurar programar els canvis per reduir al mínim les neteges i les restes de matèries.
- Estudiar el disseny de les connexions de tubs, bombes i dipòsits, de la instal·lació per què la part a escórrer i netejar sigui mínima.
- No barrejar productes que no es corresponguin.
- Evitar vessaments i esquitxades.
- Controlar periòdicament que les aixetes i les connexions no degoten.
- Conèixer el correcte funcionament de la maquinària i equips a utilitzar. Com millor es conegui, més rendiment s'obtindrà de l'equip i menys possibilitat de contaminació tindrà lloc.
- Observar que les superfícies a tractar electrolíticament es troben en perfecte estat i no presenten irregularitats que puguin afectar la qualitat final del tractament.

—*Manteniment i conservació d'instal·lacions.*

El funcionament normal dels equips i màquines provoca el seu desgast i afecta el seu rendiment, la qual cosa comporta la generació de productes fora d'especificacions, fuites, vessaments, etc. Tot plegat pot generar uns corrents residuals gens menyspreables.

El manteniment preventiu consisteix a la inspecció i neteja periòdiques dels equips i instal·lacions, incloent-hi la lubricació, comprovació i substitució de les peces en mal estat. Això constituït en si mateix una bona pràctica per a la prevenció en origen de la contaminació.

En termes generals, es pot reduir la quantitat de residus i emissions generats a causa de fuites i productes fora d'especificació, augmenta la vida útil dels equips i millora la productivitat de l'empresa.

Entre les principals bones pràctiques que contribueixen a la correcta conservació de les instal·lacions i minimització de residus, tenim:

- Elaborar fulls o procediments de manteniment per a cada equip o màquina, amb les instruccions del seu ús. És important que es trobin prop de cada equip i que detallin les seves característiques, funcionament òptim i manteniment adients. A més, cal que cada full inclogui la freqüència i el mètode de neteja de l'equip, la realització de petits ajustos, lubricació, comprovació de l'equip i reemplaçament de petites peces. També és convenient que recullin un registre escrit de les avaries sofertes, canvis de peces, ajustos realitzats, dates de les revisions i de les reparacions, etc. Caldrà indicar, per altra banda, on dipositar les peces usades i els possibles residus generats —olis, peces metàl·liques, draps bruts, etc.— Aquests fulls poden ser en forma de targetes de dades o informatitzats.
- Elaborar, també, fulls d'incidències per a cada línia o àrea de producció, on el personal anoti les avaries, els degoteigs de vàlvules o de juntes, aturades dels equips, etc., que poden afectar la fabricació o provocar una generació innecessària de corrents residuals.
- És fonamental informar i formar el personal encarregat del manteniment, perquè s'ajusti als procediments escrits i respecti la periodicitat establerta per a les revisions. Aquest aspecte és especialment important pel que fa també a la gestió dels residus que es generin com a conseqüència de les operacions de manteniment (líquids de neteja bruts, serradures brutes, draps bruts, etc.). És important, en aquest cas, no barrejar-los i acumular-los en el lloc reservat a aquest efecte.
- Per a determinats elements i equips (aparells de combustió, toros, per exemple), és preferible subcontractar el manteniment preventiu de forma externa, a una empresa especialitzada.

—Neteja d'equips i instal·lacions.

Com ja s'ha indicat anteriorment, hi ha diversos mitjans per evitar els vessaments accidentals, les fuites, per dur a terme la manipulació correcta dels productes, la utilització dels elements adients per als transvasaments, etc. Però, malgrat totes les mesures de prevenció citades, sempre arriba una part no desitjada dels materials a embrutar els equips i les instal·lacions de l'empresa.

En arribar a la necessitat de netejar, la seqüència d'actuacions recomanable a seguir és: aïllar el producte vessat per evitar la seva propagació, recollir-lo, de manera que es pugui reutilitzar o reduir-ne el volum i, finalment, netejar el terra o el que s'hagi embrutat. Aquesta seqüència possibilitarà l'estalvi en detergents de neteja i aigua, permetrà reduir la càrrega contaminant de les aigües residuals abocades i, en cas de no ser factible la reutilització del producte, facilitarà la seva segregació i la seva gestió com a residu.

Com a normes generals, en la neteja d'equips i instal·lacions es recomana a l'empresa el següent:

1. Informar, formar, conscienciar i supervisar el personal encarregat de netejar.
2. Substituir els sistemes manuals per sistemes automàtics, més eficients.
3. Establir procediments escrits de neteja.

Concretament, algunes bones pràctiques recomanables en aquest apartat són les que es citen a continuació:

- Establir i donar a conèixer procediments escrits que descriguin, en funció del producte vessat, les accions a dur a terme, l'ordre en què s'han de realitzar i els materials a utilitzar. Es tracta d'aconseguir la màxima eficiència en la neteja amb el mínim de recursos i reduir al mínim possible el nombre d'operacions de neteja, tot evitant qualsevol neteja innecessària.
- El primer objectiu serà, com ja s'ha dit, sempre que sigui possible, l'aïllament del focus com a primer pas i, a continuació, recollir el material vessat de forma que es permeti la seva reutilització. En el cas de líquids és important construir cups de retenció en les zones de transvasament i emmagatzematge que no han d'estar connectats a clavegueram o xarxes de drenatge internes. Per als sòlids, és suficient evitar el contacte del sòlid amb l'aigua o altres productes que provoquin la seva extensió.
- Disposar del material adequat per aïllar els diferents tipus de productes que se solen manipular a l'empresa i que poden ser vessats accidentalment, com ara safates o recipients per posar a sota del bidó i que actuïn com a cups de retenció per recollir el líquid que pugui caure.
- Disposar del material adequat per netejar el terra o l'emplaçament afectat per una fuga o un vessament, un cop aïllat el focus i recollit el producte vessat. Aquest material haurà de ser fàcilment accessible per al personal i per això caldrà localitzar-lo prop dels punts on pot ser més necessari. La neteja mecànica ha d'utilitzar-se en lloc de la química, sempre que sigui possible.
- Procedir a la neteja dels equips de procés (filtres, cubes, bombes, etc.) de forma periòdica, per mantenir-los en correctes condicions i, alhora, facilitar la seva neteja.
- Per a la neteja d'equips, procurar utilitzar el sistema de neteja en cascada, o a contracorrent: utilitzar, per a la primera neteja, el líquid que prové d'altres neteges, seguint a continuació amb un altre mitjanament brut i finalitzant l'operació amb la menor quantitat possible de líquid de neteja net.
- En cas de requerir de mètodes de neteja química (com és, per exemple, la neteja del terra amb aigua i una solució desgreixant), els paràmetres de control a tenir en compte són el temps, la temperatura, la concentració i la turbulència necessaris per a una operació eficaç. Per reduir la quantitat de dissolució de neteja cal, per aquest ordre:
 - netejar amb mètodes mecànics o no químics en el moment i lloc adequats, com ara les rasquetes, els raspalls, l'aspiració, etc.
 - utilitzar mànegues o aerosols a pressió que permeten l'estalvi d'aigua i/o productes de neteja (aigua, vapor d'aigua),

- fer servir l'ús d'aigua amb tensioactius o altres productes (com ara agents de suspensió i emulsionants),
- reutilitzar l'aigua amb detergents d'una neteja anterior, per fer una primera rentada, aconseguint una concentració de contaminants i un menor volum d'aigua bruta de neteja.

—*Desenvolupament i compliment dels procediments d'operació.*

L'existència de documents o procediments d'operació escrits que recullin totes les dades, operacions i instruccions efectuats en els diferents processos duts a terme asseguren que cada tasca estigui ben definida i, a més de millorar l'eficiència en la producció, poden reduir la generació de corrents residuals. En un altre cas, ens podem trobar amb un malbaratament de matèries primeres, processos ineficients, etc., que, en conjunt, contribuiran a una major generació de residus i a augmentar el risc d'accidents.

Especialment en aquest apartat, cal la implicació de tots els nivells operatius, cadascun en la seva parcel·la de responsabilitat, en l'elaboració i la implantació d'aquests procediments d'actuació.

Com a recomanacions concretes, podem apuntar les següents:

- En primer lloc, seleccionar els procediments normals d'operació dels processos realitzats amb més freqüència a la fàbrica. Caldrà detallar més aquelles operacions que poden tenir més repercussió ambiental, com ara són, per al cas que ens ocupa:
 - processos de fabricació,
 - operacions de manteniment,
 - neteja d'equips i instal·lacions,
 - emmagatzematge i transvasament de materials,
 - actuació enfront de fuites o vessaments.

És important que cada procediment incorpori la descripció dels processos globalment i que defineixin cadascun dels treballs individuals, indicant les tasques a realitzar per cada operari o responsable, el mètode d'actuació, els mitjans previstos, etc.

- Fer respectar el contingut dels procediments elaborats, tot evitant improvisacions o omissions de les instruccions establertes.
- En el cas de fuites o vessaments caldria disposar, com ja s'ha dit anteriorment, d'un procediment genèric on es descriguin les primeres actuacions a dur a terme, i s'indiqui als responsables que cal que siguin avisats.
- Mantenir un registre de dades sobre la generació de corrents residuals per a cada línia de procés o àrea de l'empresa, així com els costos associats. L'objectiu és identificar les àrees que requereixen, amb més necessitat, una millora i, posteriorment, servirà per avaluar els resultats de les pràctiques millorades.

—*Segregació dels residus.*

La segregació correcta dels diferents tipus de corrents residuals generats per l'empresa possibilita la minimització, permet donar la gestió més adequada a cada tipus de residu i incre-

menta el seu potencial de reciclatge i recuperació, amb el consegüent estalvi econòmic associat al tractament. Per contra, la barreja dels diferents tipus de residus provoca el malbaratament de matèries primeres en reduir la possibilitat de reutilització, la contaminació entre els residus, el seu major volum i, en definitiva, incrementa els costos de la seva gestió.

Cal, per tant, separar a l'empresa els residus que es generen, d'acord amb les seves característiques. En concret, es pot recomanar:

- Dotar de mitjans i instruccions per escrit de forma que es puguin segregar els residus generats, d'acord amb els aspectes següents:
 - separar els residus segons les seves característiques fisicoquímiques: aïllar els residus líquids dels sòlids, separar els residus especials dels no especials i dels inerts, així com segregar els residus tòxics segons el tipus dels seus components majoritaris. Dins dels residus inerts o dels banals, és interessant segregar-los per tipus, de forma que es possibiliti també la seva valorització externa (fusta, cartró, ferralla segons la seva composició, plàstic, etc.).
- Aquesta segregació pressuposa disposar de contenidors específics que, a més, fora interessant ubicar-los prop de cada àrea de treball, tant sigui a fàbrica com en les oficines, magatzems o pati exterior de l'empresa.
- Com ja s'ha indicat en el capítol corresponent al magatzem, cal preveure, adequar (pavimentar, cobrir, etc.) i senyalitzar la zona on s'emmagatzemaran els diferents contenidors fins que siguin retirats per un gestor autoritzat. Cal senyalitzar adequadament també cada contenidor amb indicació del residu, codi, condicions d'emmagatzematge i manipulació, nom i telèfon del gestor, etc., com ja s'ha vist anteriorment.
- Nomenar responsables que s'encarreguin de l'ús correcte de cada contenidor i zona d'emmagatzematge, i que avisi els gestors de cada tipus de residu per buidar o substituir el contenidor quan aquest estigui ple.
- Afavorir la reutilització del material d'emballatge, ja sigui a la pròpia empresa com mitjançant la seva devolució al proveïdor.
- Informar, formar i incentivar el personal de l'empresa sobre la necessitat de segregar els residus.

3.2 Reciclatge en origen

Com hem anat veient al llarg del present document, la indústria galvànica produeix un consum de primeres matèries important i, a més, en general es tracta de productes potencialment contaminants. Existeixen diverses tècniques per reduir les pèrdues, recuperant i/o valoritzant aquestes matèries, tot evitant la seva transformació en residus.

Veurem, a continuació, una sèrie de mesures senzilles en la utilització de productes i d'altres més elaborades que impliquen inversions més o menys costoses.

3.2.1 Recuperació de les matèries primeres

3.2.1.1 Desgreixatge

A mesura que s'elimina l'oli i el greix de les peces a tractar, el desgreixador es va carregant d'olis, greixos i impureses de les peces.

En general, s'observa que aquests banys de preparació són eliminats, de manera periòdica, quan han perdut el seu poder desgreixador a conseqüència d'aquestes impureses.

Com a alternativa tècnica (econòmicament viable) a aquesta forma de procedir és recomanable la implantació d'uns equips que separen les impureses de la solució desgreixadora. Aquests equips permeten la recuperació del producte i l'eliminació dels greixos i olis.

Dins d'aquesta alternativa tenim diversos sistemes per implantar a les empreses:

- Quan el desgreixatge forma una *emulsió*:
 - **Ultrafiltració:** separa els olis i recicla els productes actius i dissolvents dels processos de desgreixatge. En aquest procés cal que els diferents components tinguin un pes molecular inferior al valor llindar de tall de la membrana considerada. L'eficàcia és força bona, encara que el cost d'inversió inicial pot ser important.
- Per a olis *no emulsionats*:
 - **Sistema d'escombrada superficial per flotació i decantació i oil skimmer:** consisteix a la instal·lació d'una bomba en el bany de desgreixatge que vagi bufant aire sobre la seva superfície i que vagi desplaçant els olis i greixos sobrenedants cap a un departament de concentració. Aquest sistema només és útil en el cas d'olis no emulsionats en el desgreixatge. Es tracta en general d'un mètode amb una eficàcia mediocre, encara que el seu cost d'implantació és relativament baix. Els olis també es poden eliminar utilitzant equips d'arrossegament mecànic.
 - **Equip de centrifugació:** provoca la separació de les dues fases perquè el pes dels olis i greixos és superior al del producte desgreixador. L'eficàcia del sistema és prou bona, tot i que els costos d'inversió i d'operació són considerablement elevats.
 - A més d'aquestes possibilitats hi ha una altra consistent a allargar la vida útil del desgreixatge, mitjançant la **introducció d'un predesgreixatge**. Quan el predesgreixatge s'ha de buidar, es renova amb el contingut del bany de desgreixatge. Aquest últim es formulat de nou. Amb aquesta mesura, s'aconsegueix allargar la vida del bany en un 20-30%.
 - Finalment, una altra alternativa senzilla per recuperar producte, en el cas de desgreixatges que treballen a certa temperatura (>40 °C), és la **introducció d'un rentatge estanc de recuperació** que permeti recuperar les pèrdues per evaporació. Per exemple, un desgreixatge aquós alcalí que treballi a uns 70 °C, té unes pèrdues per evaporació entre 6,5 i 31 l/h/m².

3.2.1.2 Decapatge

Un dels principals problemes que comporta el procés de decapatge químic és l'atac de l'àcid sobre la pròpia superfície del metall de base. Aquest fet provoca dos efectes:

- envelliment prematur del bany de decapatge per contaminació metàl·lica;
- com a conseqüència de l'anterior, buidatge més freqüent del bany amb el consegüent increment de consum de primeres matèries i de generació de corrents residuals.

Cal, per tant, poder incidir sobre la velocitat d'atac de l'àcid sobre el metall de base, controlant el procés.

Pel que respecta al ferro, els paràmetres de funcionament en medi d'àcid sulfúric i clorhídric són:

- la concentració de l'àcid;
- la temperatura del bany;⁹
- la concentració en ferro dissolt.¹⁰

—Un sistema per reduir l'atac a les zones oxidades del metall de base consisteix a la introducció en el bany d'algun tipus d'**inhibidor d'atac**. Donada la gran varietat d'inhibidors d'atac disponibles en el mercat (amines orgàniques, etc.), és recomanable escollir-lo tenint en compte la seva compatibilitat amb les operacions de tractament següents:

—Hi ha també la possibilitat de purificar els banys de decapatge, ja sigui per càrregues o en continu. En el cas del decapatge de ferro amb àcid sulfúric, podem utilitzar el sistema anomenat **electròlisi-electrodiàlisi**. El mètode consisteix a concentrar l'àcid sulfúric per migració d'ions a través d'una membrana sota l'efecte d'un camp elèctric i eliminació del ferro per diposició sobre el càtode. Per a més informació, vegeu el punt 3.2.3.3 Electròlisi-electrodiàlisi, més endavant en aquest mateix document.

—En el cas del bany de decapatge amb àcid clorhídric es pot utilitzar un equip de **resines de bescanvi iònic** de tipus aniònic, que fixaran el clorur de ferro format en el bany. Posteriorment, es procedeix a la regeneració amb aigua de la resina, i obtindrem àcid clorhídric pur. Vegeu també l'apartat 3.2.3.7 Bescanvi iònic, en aquest mateix document.

—Per als banys de decapatge de coure amb àcid sulfúric, es pot utilitzar una unitat d'**electròlisi en continu** sobre el bany, que permet l'obtenció del coure metàl·lic directament al càtode.

Altres sistemes més senzills a considerar són:

- **Introducció d'un predecapatge** abans del decapatge (com en el cas del desgreixatge), que sigui alimentat pels buidatges del bany de decapatge.

⁹ La velocitat del decapatge amb àcid sulfúric s'incrementa notablement amb la temperatura.

¹⁰ En el cas del decapatge amb àcid clorhídric, la velocitat de decapatge augmenta sensiblement amb la presència de Fe²⁺ en dissolució.

- També en aquest cas, per a decapats en calent (per exemple, de ferro i coure amb àcid sulfúric), és interessant **introduir un rentatge estanc de recuperació**, que permeti recuperar les pèrdues per evaporació del bany, tot recuperant l'àcid. A més, aquest rentatge de recuperació pot servir per **reformular un nou decapatge**, un cop aquell s'ha de canviar. Molts cops, però, s'ha de procedir a depurar en continu el bany, ja que es va concentrant en metall de base.
- Per acabar aquest apartat, recomanar la introducció d'un **predecapatge mecànic**, sempre que la peça ho permeti, que permetrà reduir —o, a vegades, suprimir— la utilització d'agents químics.

En el cas de grans quantitats de decapatge a regenerar, apuntem tres alternatives tècnica-ment viables, però d'elevat cost d'inversió:

- Instal·lació d'un **crystal·litzador de sulfat de ferro**: el mecanisme consisteix a deixar refredar el decapatge dins del crystal·litzador, fins a una temperatura tal que es provoca la precipitació del ferro en forma de sulfat heptahidratat; una variant al sistema consisteix a escalfar-lo per obtenir la forma monohidratada del sulfat de ferro. Amb aquest sistema s'aconsegueix entre un 40 i un 70% d'eliminació del sulfat de ferro, amb una reducció d'entre 30-50% en consum d'àcid nou. Aquest producte obtingut pot mirar de valoritzar-se, per exemple, com a coagulant en processos de depuració fisicoquímica de l'aigua residual. Cost de la inversió molt elevat, solament recomanable per a grans volums de recuperació (500 l/h o més).
- Sistema **d'incineració oxidativa**, consistent a polvoritzar el decapatge dins d'un forn a alta temperatura, amb la qual cosa s'obté la recuperació d'HCl en forma gasosa i de Fe_2O_3 . El sistema permet obtenir un àcid recuperat concentrat que té menys de 10 g Fe/l. Es tracta també d'un sistema de cost molt elevat, factible només per a grans instal·lacions de decapatge (més d'1 m³/h).
- **Bescanvi líquid-líquid**, consistent en l'extracció de metalls pesants en banys de decapatge (Fe, Ni, Cr...) per l'addició de tributilfosfat en querosè. El sistema permet recuperar àcid nítric i fins a un 70% d'àcid fluorhídric. Com la resta dels tres sistemes, la inversió pot ser molt elevada, només justificable per a grans plantes de decapatge.
- **Retard iònic**, consistent en la separació del metall dissolt en l'àcid mitjançant resines de bescanvi iònic específiques; permet recuperar l'àcid en un grau de puresa suficient per ser reutilitzat en el procés.

3.2.1.3 Productes d'aportació

Considerem en aquest apartat tots aquells productes que constitueixen els diversos banys de procés (additius, sals metàl·liques, etc.).

S'ha de partir de la idea que bona part de les pèrdues de productes es pot evitar, fonamentalment, per dues vies:

- prevenció de les pèrdues, evitar que es produeixin o reduir-les:
 - elecció del bany (naturalesa, composició, concentració, etc.)
 - gestió del bany correcta (respectant les condicions de treball òptimes, elecció de les mínimes concentracions, manteniment de banys, etc.).
- recuperació i valorització de les pèrdues: mitjançant la introducció d'equips específics:
 - sistemes que permeten recuperar totes les sals del bany:
 - osmosi reversa: banys de níquel
 - electrodiàlisi: banys de níquel, coure i plata
 - electròlisi-electrodiàlisi: banys d'estany i de crom, purificació de certs decapatsges (per exemple, d'àcid sulfúric)
 - evaporació: banys de crom, cadmi, zenc i plata
 - ultrafiltració: purificació de desgreixatges
 - retard iònic: recuperació d'àcids del decapatge o anodització
 - sistemes que permeten recuperar metalls sense la resta de constituents:
 - electròlisi: tots els metalls
 - resines de bescanvi iònic específiques: plata, or, coure, bor, etc.

3.2.2 Reutilització de l'aigua

3.2.2.1 Tècnica de *skip*

Un dels sistemes que es pot emprar per disminuir el consum d'aigua és la tècnica de *skip*. Aquesta tècnica consisteix a emprar un mateix rentatge per a diferents etapes que químicament siguin compatibles, com per exemple emprar l'esbandida posterior a una etapa de decapatge com a rentatge previ a un bany àcid, o bé emprar les aigües de rentatge d'un decapatge (lleugerament àcides) com a aigües de rentatge del desengreixatge. Amb aquest fet, s'aconsegueix reduir el nombre de cubes de rentatges i el consum d'aigua.

Per poder aplicar aquesta tècnica de forma coherent, és necessari plantejar-se el fet que les etapes que comparteixen esbandides han d'estar el més properes possible i situades de manera que els arrossegaments puguin ser també minimitzats; en cas contrari, l'efecte pretès per la tècnica queda devaluat per l'augment dels arrossegaments.

3.2.2.2 Reciclatge per bescanvi iònic

Els sistemes de reciclatge per bescanvi iònic van guanyant popularitat, especialment en les indústries que decideixen instal·lar plantes de depuració d'efluents.

El sistema és molt útil perquè aconsegueix alguns objectius molt importants:

- reduir el consum d'aigua de la xarxa en un alt percentatge;
- netejar les peces amb un cabal important d'aigua que, a més, és un circuit tancat i no es perd;
- netejar les peces amb aigua de molt bona qualitat (aquests equips eliminen la pràctica totalitat dels ions de l'aigua transformant-la en desmineralitzada);

- evitar el màxim possible les contaminacions dels banys degudes a l'arrossegament de les peces;
- depurar un volum d'efluents molt menor i més concentrat, augmentant l'eficàcia dels tractaments de depuració i reduint el seu cost d'operació;
- reduir el cost d'inversió en instal·lacions de tractament d'efluents.

L'aplicació de sistemes de reciclatge d'aigües mitjançant resines d'intercanvi iònic ha de ser estudiada amb molta cura en funció de les espècies químiques presents en els efluents i el seu grau de concentració.

La presència de determinades substàncies pot afectar els sistemes de reciclatge, ja que poden bloquejar els grups actius de les resines i, per tant, inutilitzar els equips. També és molt comú que espècies tòxiques incompatibles siguin retingudes i concentrades conjuntament. Aquest pot ser el cas d'aigua amb presència de cromats i també cianurs. Com ambdues espècies són aniòniques, són retingudes en la mateixa resina, l'aniònica, de forma que, en regenerar-se les resines, ambdós contaminants estaran presents conjuntament.

Si això es dona, la depuració dels contaminants no pot tenir lloc per mètodes usuals i es complica de forma important. Per tant, és necessari que mai siguin barrejades aigües que contenen cromats i cianurs.

Una altra dificultat típica pot ser la barreja d'efluents amb presència del níquel com a catió, amb ions de cianur lliures. En aquestes condicions es pot produir la formació de complexos com el níquel tetracianur, molt difícil de destruir pels mètodes tradicionals i, en conseqüència, escapen dels sistemes de depuració que es tenen en compte. És necessari, per tant, preveure aquesta situació per evitar la formació del complex anterior.

El segon gran problema associat amb el reciclatge de l'aigua utilitzant resines de bescanvi iònic està relacionat amb la concentració màxima de contaminants presents en les aigües a recircular.

Els equips industrials de reciclatge tenen definida una capacitat màxima fixa. Si la concentració de sals en l'aigua recirculada és alta, aquesta capacitat s'esgota en intervals de temps molt curts, obligant a regenerar sovint els equips. Aquest efecte està relacionat tant amb el cost de l'explotació del sistema de reciclatge, com amb la generació d'efluents d'alta salinitat.

La concentració màxima de sals en l'aigua reciclada serà un paràmetre molt important a tenir en compte per aconseguir una bona aplicació d'un reciclatge.

En la majoria de casos, això obliga a una remodelació de les línies de treball, de forma que s'interposin sempre com a mínim dues esbandides consecutives després de cada procés de tractament. El primer treballarà amb un cabal elevat, recirculant per dins de l'equip de reciclatge.

Com ja s'ha fet esment al principi d'aquest document, el problema principal dels sistemes de reciclatge, tot i estar ben dissenyats, és l'augment de la salinitat (o conductivitat) dels efluents evacuats. Aquest problema és de difícil solució ja que, per una banda, es disminueix el consum d'aigua i, per tant, augmenta la concentració dels seus contaminants, obligant a una depuració que passa a ser més efectiva, i es tradueix en un increment de la salinitat. Per altra banda, els equips de reciclatge es regeneren mitjançant àcid (comunament clorhídric), un àlcali

(comunament sosa) en quantitats variables però que, de mitjana, se situen en 100 g àcid clorhídric al 100% per litre de la resina catiònica i 80 g d'hidròxid sòdic al 100% per litre de resina aniònica. Això suposa, a la pràctica, conductivitats molt altes en els efluent de regeneració, degudes a la presència de sodi i clorurs, espècies ambdues de molt difícil eliminació. Aquest augment de la salinitat de l'aigua pot causar, en determinades zones, importants modificacions a l'ecosistema.

3.2.2.3 Reciclatge per osmosi inversa

Aquest sistema de reciclatge és una alternativa als bescanviadors d'ions, per al reciclatge de les aigües de rentatge. El seu nivell d'implantació actual a Catalunya és baix, encara que tècnicament és factible.

El funcionament de l'osmosi inversa es basa en la separació de les sals dissoltes del dissolvent, en aquest cas l'aigua, mitjançant una pressió externa que obliga a passar el dissolvent a través d'una membrana osmòtica que no permet el pas dels ions salins.

D'aquesta forma, a partir d'un cabal amb una concentració determinada en sals, s'obtenen dues solucions diferents. Una amb presència majoritària de dissolvent, anomenada permeat, de gran volum i poca concentració salina, i una altra, anomenada concentrat, de poc volum i amb una alta concentració salina. Així, és possible reciclar el permeat per a operacions d'esbandida.

La separació es produeix per efecte mecànic, aplicant una pressió i, per tant, no existeix cap addició de productes químics per a la separació de la contaminació (al contrari que amb els bescanviadors d'ions).

Un altre avantatge de l'osmosi inversa és la seva capacitat de treball sobre efluent més concentrats que el bescanvi iònic, de forma que no serà necessari realitzar dilucions abans d'esbandir amb l'aigua recirculada. Per contra, la qualitat de l'aigua recirculada no arriba a presentar les característiques de puresa dels sistemes de resines, per la qual cosa en alguns casos aquests encara serien necessaris.

Tot i així, aquest tipus d'equips presenten alguns problemes pràctics operatius que dificulten la seva aplicació a escala industrial. Les membranes utilitzades fins a l'actualitat han millorat molt les seves prestacions, però segueixen presentant problemes de resistència química davant dels agents agressius, crom hexavalent, clor, persulfat, etc., especialment a partir de certes concentracions.

A més, existeixen problemes importants de saturació d'aquestes membranes que han de ser previnguts mitjançant combinacions de filtres de sorra previs i filtres finalitzadors fins a una dimensió de pas de cinc micres. Aquesta filtració és necessària també per eliminar matèries orgàniques que podrien danyar les membranes, i fins i tot en alguns casos seria recomanable la instal·lació de llits filtrants de carbó actiu.

Un altre problema associat és la presència a l'aigua de cations que produeixen incrustacions, com el calci o el manganès. És indispensable, per tant, que tota l'aigua que penetri en el sistema estigui desendurida mitjançant un descalcificador. Com pot observar-se, el sistema final és bastant complex davant dels avantatges que proporciona, la qual cosa implica un cost

d'instal·lació bastant més elevat que els sistemes de reciclatge per resines de bescanvi iònic. En canvi, a nivell operatiu, el cost és bastant inferior, ja que no exigeix consum elevat de productes químics.

3.2.3 Recuperació dels arrossegaments

Malgrat tot el conjunt de mesures aportades per reduir l'arrossegament (vegeu l'apartat 3.1.2.2 Reducció dels arrossegaments), subsisteix un arrossegament residual inevitable que acaba, en el pitjor dels casos, al terra de la nau o en les cubes de rentatge amb aigua. Com ja s'ha vist anteriorment, aquest arrossegament pot ser recuperat, en part, per la millora de l'estructura de rentatges (vegeu també 3.1.2.3 Milliores en les esbandides i els rentatges).

Hi ha, però, d'altres sistemes més sofisticats que també permeten recuperar bona part de l'arrossegament produït. Vegem quins són:

3.2.3.1 Electròlisi

Aquest sistema permet recuperar un metall que es troba en una solució. Aquesta separació s'efectua dins d'una cel·la electrolítica amb la diposició del metall en qüestió en el seu càtode. En l'apartat 3.2.1.2 Recuperació de matèries primeres: decapatge, ja s'han apuntat alguns exemples de recuperació.

El funcionament del sistema és idèntic al de qualsevol altra cel·la electrolítica, per la qual cosa caldrà procedir:

- controlant la concentració del bany,
- controlant periòdicament els equips elèctrics
- reemplaçant els càtodes.

A part del metall recuperat, la resta de sals i compostos del bany no són recuperables. La recuperació del metall dipositat en els càtodes requereix la destrucció d'aquests, normalment per incineració i, per tant, cal disposar del servei d'un recuperador, normalment extern, el cost del qual cal afegir al cost total de la recuperació.

A més, cal indicar que el consum elèctric és important amb relació a les quantitats recuperades; per tant, s'utilitza per recuperar metalls preciosos, el valor dels quals compensa les despeses de la recuperació.

3.2.3.2 Electrodiàlisi

També consisteix a un sistema electroquímic que permet extreure els ions continguts en una solució, per migració a través de membranes selectives, sota la influència d'un camp elèctric. Normalment, una cèl·lula d'electrodiàlisi està formada per una membrana catiònica que delimita dos compartiments entre dos membranes aniòniques. Dins d'un dels compartiments circula la

solució a diluir (rentatge) i, en l'altre, la solució a enriquir (bany). Les membranes aniòniques només deixen passar els anions, i les catiòniques, els cations. Tant les unes com les altres són impermeables als líquids. Els cations migren en el sentit del corrent elèctric, de l'ànode cap al càtode, travessant la membrana catiònica i quedant retinguts per l'aniònica.

D'aquesta forma, s'aconsegueix concentrar els electròlits dissolts en un costat i no en l'altre; tant és així, que permet:

- separar certs ions d'una solució,
- concentrar una solució que pot retornar-se cap al bany de procés.

Per tant, es tracta d'un sistema de recuperació de sals en banys calents, on té lloc una evaporació natural. En aquest sentit, la seva col·locació és entre el bany de procés i el rentatge estanc de recuperació, on concentra les sals arrossegades cap a aquest rentatge i les retorna al bany. D'aquesta forma, s'aconsegueixen dos objectius:

- retornar al bany part de les sals perdudes per arrossegament,
- mantenir el rentatge estanc de recuperació a una baixa concentració, amb la qual cosa es contaminen menys les aigües de rentatge següents i es pot reduir el cabal d'aigua.

Aquest tipus d'instal·lació és útil per a esbandides estanques de coure, níquel i plata.

Com a inconvenients del sistema, cal citar:

- controls i manteniments diaris de l'equip: control de la pressió de treball, verificació dels filtres i dels elèctrodes;
- descarbonatació de les membranes: trimestralment.

Donat que el seu rendiment és molt alt, entre un 95-97%, i que els costos operatius i de manteniment no són molt elevats, s'estima un període mitjà de retorn de la inversió inferior a un any.

3.2.3.3 Electròlisi-electrodiàlisi

Aquest sistema combina els efectes de l'electròlisi amb els de l'electrodiàlisi interposa una membrana d'electrodiàlisi (anòdica o catòdica) entre dos elèctrodes. Dos compartiments, un anòdic i l'altre catòdic, són d'aquesta forma separats entre ells. El compartiment anòdic està limitat per un ànode i la membrana, mentre que el compartiment catòdic està limitat per la mateixa membrana i un càtode. L'elecció del tipus de membrana depèn dels elements que es vulgui passar d'un compartiment a un altre. És a dir, obtenim una filtració selectiva d'anions i cations.

L'altre fenomen que té lloc és l'electrolític: l'oxidació a l'ànode i la seva reducció de l'element al càtode.

Com a aplicació tècnicament viable trobem la regeneració de l'àcid cròmic i de l'àcid sulfúric en una cuba de rentatge estanc. L'àcid cròmic es recupera en el compartiment anòdic de l'aparell i pot ser reintroduït, ja sigui al propi bany de procés o al rentatge anterior al bany, per anar-lo reintroduint lentament amb l'arrossegament.

Com a factor limitant del sistema, podem indicar que la concentració màxima de treball en àcid cròmic és de 300 g/l.

Altres inconvenients del sistema els trobem en els mètodes de manteniment i control, que són molt similars als de l'electrodiàlisi. A més, com que l'equip produeix solucions directament utilitzables, poden donar-se casos de contaminació de la solució per les impureses que hi hagi i que també es redueixen en el càtode.

El principal cost operatiu és l'energètic, ja que ens trobem amb consums d'entre 25 i 30 kWh per kg d'àcid cròmic recuperat. Entre l'elevat cost inicial de la inversió, els costos operatius i el preu de mercat de l'àcid cròmic, les dades indiquen que el sistema només és interessant per a instal·lacions que han de recuperar grans quantitats d'àcid cròmic.

3.2.3.4 Osmosi inversa

En l'apartat 3.2.2.3 Reciclatge per osmosi inversa, ja s'ha descrit àmpliament el sistema i el seu ús principal com a element de recuperació d'aigües. En aquest apartat, afegirem només el seu possible ús com a recuperador de matèries procedents dels arrossegaments existents entre cubes.

En el cas de recuperació de sals, els ions metàl·lics són ben retinguts per les membranes d'osmosi, i s'obtenen uns percentatges d'eficàcia propers, en molts casos, al 90%.

Un sistema utilitzat és la recuperació de les sals de níquel, contingudes en un rentatge estanc de recuperació. En canvi, la recuperació dels abrillantadors del bany és menys important que la del níquel, i arriba a valors només del 60%. Per aquest fet, cal una anàlisi i reformulació del bany per assolir els paràmetres òptims de treball.

Un altre inconvenient que presenta la instal·lació és que, a diferència d'altres sistemes de separació selectiva, en aquest cas també es concentren les impureses que vagi captant el bany, amb la qual cosa hi ha un risc alt de contaminació perquè s'hi concentren totes les sals.

Es tracta d'equips de preu elevat que requereixen instal·lacions annexes per poder funcionar bé, amb manteniments periòdics com la neteja de les membranes amb una solució d'àcid cítric o acètic per eliminar possibles diposicions calcàries i carbonatades. Tot plegat, afegit al baix preu de les sals que pot recuperar, fan que els períodes de retorn siguin, normalment, molt elevats.

3.2.3.5 Ultrafiltració

Aquest concepte ja s'ha tractat en l'apartat 3.2.1.1 Recuperació de les matèries primeres: desgreixatge. Aquí afegirem que, igual com en el cas de l'osmosi, el sistema funciona separant el solut de la solució mitjançant l'ús de membranes de filtració, gràcies a una pressió externa que s'aplica al sistema. La diferència important la tenim en el fet que, en aquest cas, s'usen membranes selectives segons el que es vulgui filtrar. Cal doncs, determinar —habitualment de forma empírica— el tipus de membrana i la mida del porus desitjat.

Actualment, trobem dos tipus de membranes disponibles:

- membranes orgàniques: acetat de cel·lulosa, poliamida, etc.
- membranes minerals: la principal, d'òxid de zirconi.

Mentre que les primeres són menys costoses, tenen aplicacions més limitades; les minerals es poden utilitzar sobre líquids a temperatures altes (entre 50 i 120 °C) i amb presència de dissolvents aromàtics o clorats, factors tots ells que les orgàniques no suporten.

Com a possibles aplicacions dins del sector de tractaments de superfície tenim les següents:

- separació i concentració d'efluents d'electroforesi, en el trempat de metalls;
- recuperació de sals en els banys de desgreixatge, mitjançant la separació dels olis.

Per la seva banda, entre els principals inconvenients del sistema trobem la necessitat de neteja del mòdul d'ultrafiltració, mitjançant una solució d'àcid làctic i de butil-butà, amb rentatges successius posteriors amb aigua desmineralitzada.

Per altra banda, són equips de preu elevat que no justifiquen econòmicament, a vegades, la recuperació del desgreixatge. En determinats casos, però (situacions de peces molts carregades d'olis que originen veritables problemes a l'hora de depurar els banys de desgreixatge esgotats), pot ser interessant la seva instal·lació.

L'avantatge d'aquesta tècnica és que permet tenir una qualitat constant de desgreixatge, adient per a processos en els quals el desgreixatge ha de ser d'alta qualitat.

3.2.3.6 Evaporació

Es tracta d'un sistema de concentració de matèries que utilitza energia en forma calorífica per evaporar la part líquida i concentra les sals que s'hi troben dissoltes.

Donat aquest factor de concentració en sals, pot fer-se servir per reintroduir-les en el bany de procés. És un sistema especialment adequat en el cas de banys que treballen a temperatura baixa (<40 °C), en els quals les pèrdues per evaporació natural no són prou significatives com per poder introduir rentatges estancs de recuperació.

Per la seva banda, l'aigua evaporada, un cop condensada, pot servir per alimentar el sistema de rentatges de la línia de procés.

Els sistema d'evaporació pot introduir-se en la línia a diferents nivells:

- sobre un sistema de rentatges múltiples en cascada a contracorrent
- a nivell del rentatge estàtic posterior al bany de procés
- Fins i tot, sobre el propi bany de procés, concentrant-lo.

Evidentment, només en els dos nivells primers podem assolir una recuperació dels arrosseaments.

Per evitar, per una banda, un cost energètic important en l'escalfament fins a ebullició de la dissolució, com també per evitar la degradació de certs constituents orgànics presents als

banys galvànics, el sistema d'evaporació més recomanable és al buit. Amb aquest sistema, fàcilment, es pot assolir un procés d'evaporació d'una solució aquosa a tan sols 30-40 °C.

Aplicacions pràctiques del sistema, les tenim en els exemples següents:

- evaporació d'olis solubilitzats
- recuperació de zinc (en aquest cas, donat que el bany de zincat es troba bastant calent, en provocar el buit de la solució, ja s'aconsegueix fer bullir la solució, sense necessitat d'escalfament addicional)
- concentració d'un bany de cromat per permetre la introducció de rentatges estàtics després del bany
- darrerament, s'està observant la implantació d'aquests equips per assolir *abocaments zero*, en matèria d'aigües residuals, combinats amb equips de reciclatge d'aigua per via del bescanvi iònic.

Per la seva banda, com a única dificultat del sistema tenim l'elevat cost d'inversió de l'aparell. Pel que fa als manteniments, es tracta d'equips bastant robusts. L'únic element crític que cal controlar és la bomba de buit que, donat el seu elevat cost, requereix una atenció més detallada. Quant a l'explotació de l'equip, és important controlar les pressions i temperatures de treball, el nivell de líquid que s'evapora i els cabals de condensació i destil·lació. Per obtenir l'òptim aprofitament d'aquesta tècnica, és convenient analitzar i adequar, en cas necessari, la línia galvànica per incloure-hi esbandides múltiples; és recomanable combinar aquesta tecnologia amb un equip de resines de bescanvi iònic.

3.2.3.7 Bescanvi iònic

Aquest sistema s'ha tractat àmpliament en l'apartat 3.2.2.2 Reciclatge per bescanvi iònic, referent a les aigües de procés generades.

En aquest punt afegirem les diverses possibilitats per a la recuperació de determinats ions que es perden amb l'arrossegament.

A més de les ja esmentades aplicacions per a la recuperació en continu de les aigües d'esbandida els equips de resines es poden utilitzar per a les aplicacions següents:

- Depuració de recuperacions de banys d'àcid cròmic o de passivacions cròmiques, mitjançant la retenció a la resina de cations indesitjables: Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , etc. En procedir a la seva descontaminació es possibilita la seva reintroducció en el bany i s'aconsegueix la recuperació dels arrossegaments produïts.
- Recuperació de metalls presents en les aigües de rentatge, mitjançant l'ús de resines de tipus aniònic (Ag^+ , àcid cròmic).
- Regeneració d'un decapatge d'àcid clorhídric, mitjançant l'eliminació dels ions Fe^{3+} . El clorhídric es pot recuperar (només cal ajustar la seva concentració), i el clorur fèrric que s'obté és valoritzable, tot concentrant-lo prèviament.

Pel que fa als problemes i inconvenients de la instal·lació, ens referim de nou a l'apartat 3.2.2.2 d'aquest document.

Podem concloure aquest apartat dient que els bescanviadors iònics permeten concentrar i extreure contaminants (ions específics). Malgrat tot, el nivell de concentració al que poden arribar no permet reintroduir directament les sals recuperades, i cal procedir a la seva major concentració. Aquest fet fa que no s'utilitzin gaire amb aquesta finalitat. Són especialment indicades, com ja s'ha vist, per a solucions molt diluïdes, com per exemple esbandides que s'han de recircular a la línia de rentatges.

Finalment, per acabar aquest apartat dedicat a la recuperació dels arrossegaments, detallarem aquells sistemes més senzills, molts d'ells ja comentats en apartats anteriors, que poden combinar-se amb tots els altres sistemes de recuperació vistos fins ara.

3.2.3.8 Altres mesures

• Barres de suport per als bastidors

Aquest sistema és d'utilitat en instal·lacions de tipus manual, en les quals els operaris han de manipular bastidors de pes elevat que dificulten les operacions d'escorreguda.

L'operació és certament senzilla i en canvi, per desgràcia, no es duu gaire a terme.

En realitat, només significa fer algunes operacions més de penjar bastidors. Així, mentre que un ganxo escorregut es trasllada al procés següent, un segon estarà en posició d'escorreguda, i així successivament.

Aquest sistema és de molta utilitat sobre banys de treball a temperatura ambient i en esbandides de recuperació, però no gaire sobre banys de procés en calent, ja que la solució pot arribar a assecat-se sobre les peces i crear problemes d'acabat final. En aquests casos la seva utilitat es limita a les esbandides de recuperació.

• Tapajuntes entre les diferents cubes de treball

Consisteix a col·locar una superfície inclinada entre dues cubes consecutives en el procés de producció.

A la pràctica, aquest tipus de dispositius quasi no són utilitzats, fins i tot entre les instal·lacions automatitzades i, en canvi, la seva utilitat és inqüestionable.

A les plantes de procés manual, l'ús de tapajuntes i una disposició adequada del procés permetrà recuperar una bona part dels arrossegaments, al mateix temps que s'evitarà que aquests vagin al terra i generin un altre problema de difícil solució.

• Tancs d'escorreguda

Quan el tipus de producció és tal que existeix una escorreguda perllongada, com per exemple en les produccions en tambor, és molt convenient considerar l'ús d'un tanc de recollida d'escorregudes.

Aquest consisteix a un tanc buit, on el transportador es pot suspendre per un temps, mentre les peces es van escorrent. En el cas de tambors, aquest pot rotar mentre està en aquesta posició, assegurant un màxim d'escorreguda. Quan en el fons d'aquest tanc s'acumula una certa quantitat de solució, es pot retornar per bombeig al tanc de tractament.

- **Tancs d'escorreguda per aspersió**

Una variació dels tancs d'escorreguda, són els tancs d'aspersió. En aquests, les peces són mullades amb una petita quantitat d'aigua en forma de fines gotes en aspersió, que formen com una boira que condensa sobre les superfícies de les peces i provoquen una escorreguda al fons del tanc. Aquest sistema no pot ser considerat un rentatge a causa de la petita quantitat que s'hi utilitza.

Gràcies a la naturalesa vaporosa d'aquesta boira, s'arriba a les parts més inaccessibles de les peces. La solució acumulada en el fons del tanc és bastant concentrada i, per tant, pot ser reutilitzada en el propi tanc de tractament.

Aquest sistema és de poca utilitat per a peces amb concavitats on pot quedar retinguda solució de l'arrossegament.

- **Esbandides estanques de recuperació**

Com ja hem vist anteriorment, aquest sistema és idoni per a la recuperació de les matèries primeres constituents dels banys de procés, especialment si operen en calent.

En alguns casos especials de banys que operen a temperatura ambient, es poden implantar els sistemes de recuperació ECO.

4

Alternatives de tractament

Veurem, a continuació, diverses alternatives a aquest tractament orientades a la reducció dels residus generats en el procés —fonamentalment, els fangs amb hidròxids metàl·lics—, així com a la minimització de la quantitat de substàncies presents en les aigües depurades.

Una bona alternativa al tractament passa, indefectiblement, per una **correcta segregació d'aquests efluent**s de la resta. Només d'aquesta forma podrem actuar aconseguint una correcta precipitació de tots els metalls.

4.1 Trencament de complexos metàl·lics

Un cop segregat l'efluent a tractar, com a alternatives al procés convencional i que aconsegueixen separar el metall del complex i possibilitar-ne la posterior precipitació, trobem les següents, entre d'altres:

1. Tractament amb **clorur càlcic, peròxid d'hidrogen i àcid sulfúric**. El sistema, a més de trencar el complex, redueix el metall a la forma reduïda que precipita molt bé en medi alcalí.
2. Una altra variant de l'anterior, més efectiva i de més recent aplicació, és l'addició de sulfat ferrós, previ al tractament convencional. El **sulfat ferrós i el peròxid d'hidrogen, a pH 9**, també aconsegueixen reduir el metall, alhora que s'ocupa el lloc en el complex gràcies a la presència d'ions ferrosos o fèrrics. Com a principal inconvenient del mètode, tenim l'elevat consum de sulfat ferrós i la gran quantitat de fangs que genera.
3. També hi ha alternatives en aplicacions similars que passen per l'ús d'un **polisulfur de sodi i hidrosulfur de sodi**. Com a avantatge respecte a les anteriors, tenim el fet que genera molta menys quantitat de llot residual, però, en contrapartida, presenten un risc de generació de sulfur d'hidrogen gasós, altament tòxic. Cal, en aquest cas, dur a terme un rigorós control de pH i tenir una bona ventilació del local on s'apliquen els compostos.
4. Una alternativa a aquests tractaments, molt més recent i per acabar de desenvolupar, consisteix a l'ús d'un **xantat insoluble de midó (ISX)**. Un ús possible d'aquesta molècula orgànica és la regeneració de resines catióniques de bescanvi iònic, ja que allibera ions magnesi que ocupen els llocs dels metalls adsorbits. Els tractaments de depuració

combinant aquest compost amb d'altres de tipus sulfurós poden reduir notablement la presència de metalls pesants en les aigües residuals. Com a norma, els compostos sulfurosos són molt més insolubles que els formats amb hidròxids.

5. Finalment, per a l'eliminació de metalls complexats i altres components de difícil eliminació per via fisicoquímica, esmentar la possibilitat d'utilització de **resines de bescanvi iònic específiques**. Així, es disposa en el mercat de resines quelants per a Ni, Cu, B, NO₃⁻, entre d'altres. Per evitar problemes amb l'eluat de regeneració, és aconsellable regenerar la resina en plantes autoritzades de tractament de residus especials.

4.2 Oxidació de cianurs

Pel que fa a aquest, les alternatives a l'hipoclorit en medi alcalí passen per les següents:

1. Oxidació amb **peròxid d'hidrogen**, que el converteix en cianat, a més, sense la formació de cap compost intermedi. A més, com hem vist anteriorment, aquest compost facilita el trencament de complexos metàl·lics i possibilita la seva precipitació posterior.
2. Destrucció de cianurs utilitzant un **àcid monoperòxid sulfúric**, el qual actua no com a àcid, sinó com a sal triple àcida. El procés que té lloc és complex; amb aquest mètode s'incrementa notablement la velocitat de reacció amb el cianur i s'assoleixen uns nivells òptims de depuració del compost.
3. Oxidació de cianurs mitjançant **oxigen o aire, amb presència de carbó actiu**. Igual en el segon cas, el cianur s'oxida gràcies a la presència d'oxigen. Per facilitar el contacte entre el líquid i l'oxigen —o aire— es fa passar aquest contracorrent a través d'una columna plena de carbó actiu. En aquest cas, l'oxidació catalítica del cianur té lloc en la superfície del carbó. També existeix la possibilitat d'airejar l'aigua que conté cianurs dins d'un tanc on es troben partícules de carbó actiu en suspensió. El resultat final en tots dos casos és la formació d'un cianat, amb l'avantatge d'una menor generació de fangs residuals al final del tractament que en el cas convencional amb hipoclorit sòdic.
4. Destrucció de cianurs mitjançant un **procés d'oxidació anòdica**. El mecanisme de reacció que té lloc és força complex, ja que s'hi dona un gran nombre de reaccions. El sistema consisteix a oxidar en una cel·la electrolítica, sota diverses condicions de treball, el cianur que passa a la forma oxidat en l'ànode. Es tracta d'un mètode lent i que només és útil per a solucions de poc volum i concentrades (per exemple, depuració de banys amb metalls preciosos). Com a aspectes interessants del mètode, cal dir que la reacció és totalment irreversible i que no és possible la formació de cianurs per reducció del cianat en el càtode. Un cas ideal és aquell en el qual, a més de l'oxidació del cianur en l'ànode de la cel·la electrolítica, té lloc la reducció del metall dissolt en la solució.
5. Destrucció de cianurs per **precipitació amb sals de Fe (II)**. Els ions ferrosos formen amb els cianurs un complex extraordinàriament estable, que es pot precipitar (són els anomenats hexacianoferrats o ferrocianurs). Es tracta d'un bon sistema per eliminar cianurs en

solucions concentrades i obtenir un precipitat fàcilment filtrable. Com a inconvenient greu tenim que, en el llot format, el cianur no es troba oxidat i converteix el residu en tòxic.

6. Oxidació de cianurs alternativa amb **gas clor**; aquesta possibilitat és especialment adequada en el cas de grans estacions de tractament d'aigües a causa del menor cost operatiu que suposa i de la menor quantitat de fangs que genera el sistema.
7. Existeix una altra alternativa, encara que només l'anomenarem, ja que és un procés car i que requereix molt control. És la **destrucció tèrmica de cianurs** mitjançant l'ús de fonts de combustió. A altes temperatures (entre 140 i 220 °C) s'aconsegueix la hidròlisi del cianur i la seva posterior combustió.

4.3 Reducció de crom hexavalent

Quant a les alternatives al tractament convencional, passen per les següents:

1. Reducció amb **diòxid de sulfur** gasós. El sistema consisteix a mesclar en un tanc de reacció el líquid residual amb el gas; la reacció és molt ràpida i s'assoleixen bons nivells de reducció. Com a principal avantatge podem dir que, sent un gas, no genera tanta quantitat de fangs com en l'ús del bisulfit sòdic. A més, com que el gas és àcid, quasi no té lloc consum d'àcid extra per reduir el pH en el procés.
2. Reducció de crom amb la utilització de **compostos de Fe (II)**. Diguem que, a Catalunya, hi ha una certa tendència a usar el sulfur ferrós en aquests processos, en plantes galvàniques de zincat i passivació cròmica del ferro. El principal avantatge del mètode és que el procés és, pràcticament, independent del pH —dins de certs marges—; és a dir, no cal com en el cas del bisulfit haver de baixar el pH fins a valors de 2-2,5 u.pH. Això és especialment interessant de cara a reduir el consum d'àcid, i d'àlcali per tornar-lo a pujar, fins a valors de precipitació de metalls; a més, la presència d'ions fèrrics en el sistema actua com a agent floculant i afavoreix la decantació dels hidròxids metàl·lics formats posteriorment.
3. Reducció de crom hexavalent per via **catòdica** igual com succeeix en el cas dels cianurs, els cromats poden reduir-se en el càtode d'una cel·la electrolítica. El procés, però, només és efectiu a baixes concentracions de cromats (<0,5 mg/l). De totes formes, és un mètode no adoptat en la pràctica, a causa de les diverses dificultats tècniques que comporta (procés complex electroquímicament, consum elèctric important, reaccions inverses amb nova formació del compost, etc.).

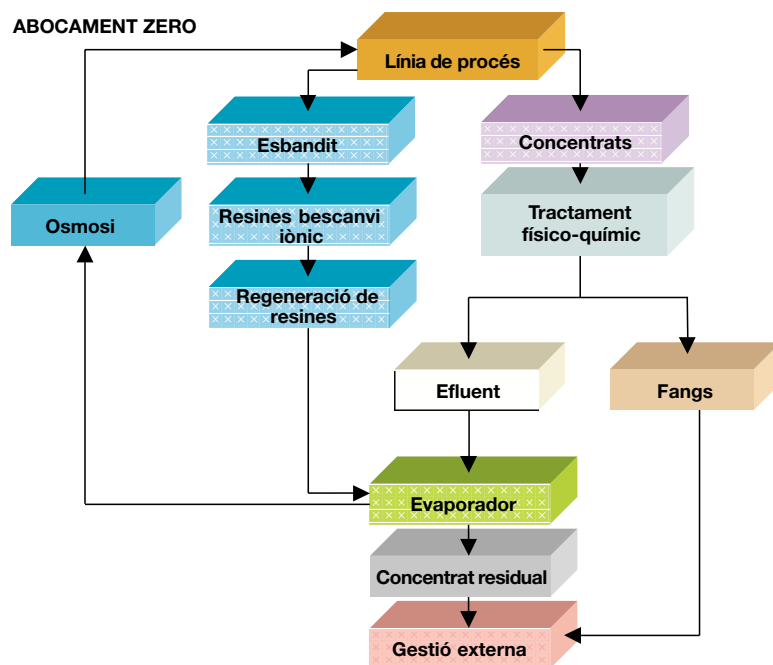
4.4 Coagulació

Pel que fa al procés de coagulació habitual, amb clorur fèrric, comentarem breument aquí una tecnologia utilitzada en algunes empreses del sector a Catalunya i que és la implantació de plantes d'**electrocoagulació**. El sistema consisteix, en essència, en la fabricació *in situ* dels ions ferrosos o fèrrics indispensables per obtenir una bona formació de coàguls, previs a l'etapa de neutralització i precipitació dels metalls.

En si, el mètode utilitza una cel·la electrolítica on, mitjançant el pas d'un corrent elèctric, s'obté la formació d'ions de ferro provinents d'un ànode fabricat amb planxa de ferro. De fet, el propi industrial es fabrica el seu propi coagulant.

Com a avantatge principal, podem parlar de la reducció de la conductivitat de l'aigua; recordem que, en el cas tradicional, els ions fèrrics són aportats per una solució de clorur fèrric, els clorurs de la qual després queden solubilitzats en l'aigua depurada. També hi ha una menor demanda de solució alcalina per pujar el pH de la solució i, conseqüentment, una disminució sensible en el volum de llots residuals generats. Com a principal inconvenient, l'elevat cost de la unitat d'electrocoagulació. Aquesta tècnica és aplicable en casos en què les característiques de les aigües presenten poca variabilitat i, tot i així, és aconsellable disposar de tancs d'homogeneïtzació per aconseguir aquesta regularitat. En funció del tipus d'aigua a homogeneïtzar, és necessari instal·lar un sistema d'agitació per evitar els precipitats.

Finalment, per acabar aquest apartat, tornarem a fer esment sobre les diverses utilitats dels equips destinats a la recuperació i reciclatge de l'aigua que en els últims anys s'estan imposant dins del sector per anar a assolir un *abocament zero*; tots ells ja han estat força tractats en apartats anteriors, aquí només farem referència a un tipus d'instal·lació que està guanyant terreny en aquest camp i que és la combinació de sistemes de reciclatge d'aigües de rentatge mitjançant l'ús de resines de bescanvi iònic, a vegades combinats amb equips d'osmosi inversa, combinats amb evaporadors al buit per a la concentració dels eluats procedents de la regeneració de resines i dels banys de pretractament esgotats. El resultat final és un concentrat residual que s'ha de gestionar com a residu especial.



5

Altres aspectes a considerar

En aquest apartat es consideren tot un conjunt de recomanacions que van en la direcció de reduir el risc de contaminació, ja sigui en el lloc de treball o en el medi ambient. Com es veurà, moltes d'aquestes propostes ja han estat recomanades en apartats anteriors, especialment pel que fa a les bones pràctiques ambientals.

5.1 Localització de magatzems de productes

Com a norma general, els magatzems s'han de situar el més a prop possible del lloc on es produeix consum dels productes. Encara que és més recomanable sempre un únic lloc d'emmagatzematge.

Evidentment, caldrà situar-lo també en un indret fàcilment accessible per als camions de transport.

5.2 Gestió del magatzem

Només hauria de tenir accés al magatzem un determinat nombre de persones les quals, entre d'altres aspectes, haurien de tenir prou informació i formació bàsica relativa a les característiques i perills que comporten els productes emmagatzemats.

Com s'ha vist anteriorment en altres apartats, cal fer una distribució de productes que eviti les barreges, mitjançant la seva etiquetació visible, la confecció de cubetes de retenció separatives (àcids de bases i, especialment, de cianurs), etc.

També és recomanable la preparació de fitxes d'estat de l'estoc que permetin controlar les entrades i sortides de productes del magatzem i reduir el risc de quedar-se sense un aprovisionament adequat de productes.

5.3 Cubetes de retenció

Han de permetre recollir amb suficiència possibles vessaments i garantir un grau d'estanqueïtat alt.

És convenient que la cubeta permeti recollir tant els vessaments verticals com aquells horitzontals, provinents de fugues en tancs alts.

Com s'ha dit en repetides ocasions, les cubetes han de ser de tipus separatiu, que evitin barreges entre àcids i cianurs, ni aquelles altres barreges que, per llur naturalesa, dificultin o impedeixin la reutilització dels productes vessats.

5.4 Alimentació d'aigua

Per anar bé, l'alimentació d'aigua al taller galvànic hauria de ser única, disposar d'un comptador i d'una electrovàlvula connectada a un sistema de mesura del cabal: si el consum es dispara de forma sostinguda, s'actua sobre l'electrovàlvula tancant el sistema d'alimentació.

En canvi, per a cada posició de rentatge de la línia de procés, és convenient disposar de cabalímetres adequats al cabal de pas; aquests han de permetre conèixer i regular el cabal d'aigua de rentatge independent, segons les necessitats de renovació (raó de dilució (Rd)) de cada posició de rentatge.

Un sistema recomanable és la instal·lació d'una cuba d'emmagatzematge d'aigua, dimensionada per a diverses hores de funcionament, de forma que permeti emmagatzemar l'aigua depurada en males condicions. D'aquesta forma, s'evitaria el seu abocament directe a l'exterior, en cas de depuració defectuosa o d'accident.

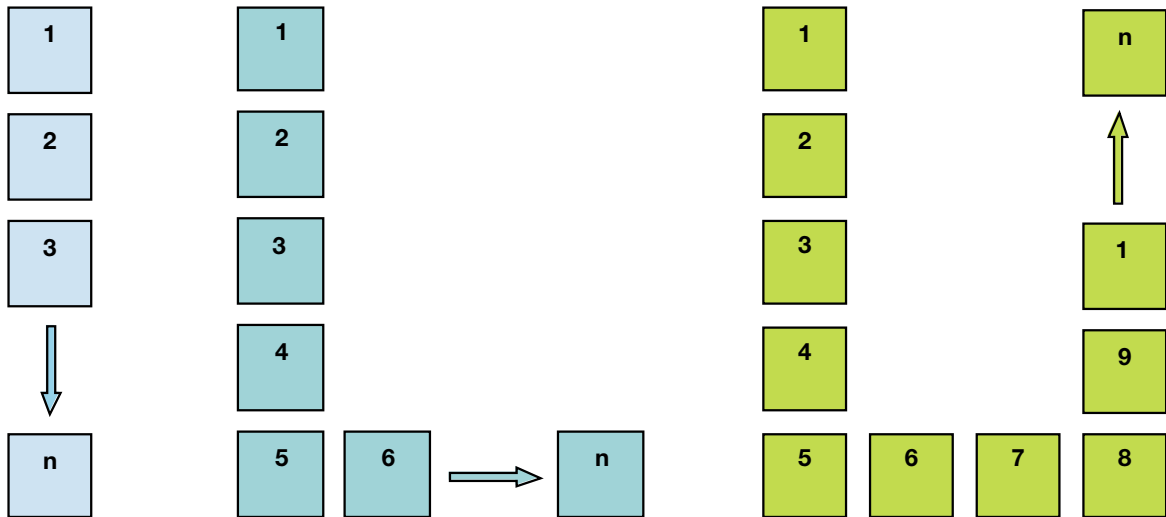
5.5 Protecció de conduccions

Les conduccions de reactius o d'efluents que han estat mal fixades o poc protegides poden convertir-se en font de generació de corrents residuals, a causa de trencaments o esclatxes.

Caldrà, per tant, suportar-les adequadament i protegir-les amb elements resistents per evitar aquestes possibilitats.

5.6 Disseny de les línies de procés

Tenint en compte que els principals problemes mediambientals del sector vénen derivats de l'arrossegament, caldrà preveure, en el disseny de la planta galvànica, el mínim nombre d'encreuaments de passadissos, tot just per evitar que part de l'arrossegament produït amb el moviment entre cubes acabi caient al terra de la nau.



Com que això no és sempre factible —sobretot en plantes manuals amb diferents acabats finals— cal preveure la col·locació de safates sota els passadissos que recullin aquest degoteig, tot evitant que arribi al terra. Aquestes safates han d'estar connectades amb el dipòsit corresponent —preferentment, a concentrats— per a una posterior depuració de l'efluent.

5.7 Transvassament d'efluents

Els equips de bombeig d'efluents i d'altres líquids han de complir també amb tot un seguit d'aspectes:

- les bombes han de ser de la qualitat adequada al tipus de líquid de transvasament; per exemple, s'ha de tenir cura amb l'interior de les bombes destinades a bombejar efluents o líquids cròmics, a causa del fort atac sobre el ferro i, fins i tot, sobre el propi acer inoxidable;
- tenir la precaució de doblar les bombes destinades a bombejar els efluents diluïts cap a la planta de tractament d'aigües, ja que són els que més cabal aporten a la planta;
- en determinats casos, pot ser interessant la col·locació de comptadors horaris de funcionament de les bombes.

5.8 Recollida d'efluents

La recollida dels efluents s'ha de fer en canalitzacions tancades, separadament per a cada tipus d'efluent i de material resistent. Com a precaució, cal tenir en compte el buidatge periòdic i habitual dels banys de desgreixatge que poden trobar-se a uns 65-70 °C de temperatura: una

conducció de PVC, per exemple, no resistirà l'escalfament produït i es deformarà. Si aquesta mateixa conducció la fem en ferro, que resistirà bé la temperatura, no aguantarà gaire l'atac de la sosa, per exemple, i s'anirà perforant amb el temps. Un bon material per a aquest afluent és l'acer inoxidable.

Pel que fa a la segregació d'efluents, calen, com a mínim les conduccions següents:

1. Concentrats àcids i cròmics.
2. Concentrats alcalins.
3. Concentrats cianurats (no barrejar-los amb els anteriors per risc de formació de complexos entre els metalls dels banys cianurats i els complexants presents en els desgreixatges).
4. Diluïts àcids i alcalins no cianurats.
5. Diluïts cròmics.
6. Diluïts cianurats.

A més, és interessant indicar que la recollida d'efluents ha de preveure les futures modificacions a la planta de procés. El sistema ideal consisteix a una galeria accessible en la qual són fixades les conduccions.

5.9 Ambient de treball

Un taller mullat d'aigua, amb el terra relliscós, en una atmosfera humida i corrosiva, afavoreixen els accidents de treball i les malalties. Cal treballar en unes condicions adequades, de netedat, d'ordre, disposant dels elements, equips, etc. idonis per a cadascuna de les feines desenvolupades.

Altrament, s'està afavorint una deixadesa generalitzada que acabarà repercutint en una mala qualitat de la producció, un enrariment de l'ambient de treball i, probablement, un augment en la generació de corrents residuals.

L'experiència demostra que un taller brut i contaminant és, generalment, menys competitiu en el pla de la productivitat.

5.10 Automatització i programació dels processos

Determinar quins són els paràmetres de control dels processos i automatitzar-los és una de les vies per a optimitzar l'activitat productiva aconseguint una minimització dels corrents residuals generats. A més, permetrà que totes les peces siguin tractades d'igual manera d'acord amb l'estàndar de qualitat que defineixi l'empresa.

La viabilitat de l'aplicació d'aquesta alternativa serà fortament dependent de les característiques concretes de l'empresa (grandària, espai, ...).

6

Anàlisi de la viabilitat tècnica i econòmica d'algunes de les alternatives

Per desenvolupar aquest capítol, s'han pres dos models reals d'empreses de tractaments de superfície ubicades a Catalunya, i s'han valorat els diversos costos i estalvis que intervenen a l'hora de dur a terme la implantació d'algunes alternatives. Per motius obvis de confidencialitat, les dues empreses han estat anomenades empreses A i B. L'objectiu d'aquest capítol és el d'establir, amb certa fiabilitat, el període de retorn (PRI) de les inversions proposades per a algunes de les alternatives de minimització identificades.

Els dos models que s'han escollit presenten perfils força representatius del sector a Catalunya, i són els següents:

- a) Petita empresa de tipus familiar amb cinc treballadors, que disposa de línies manuals en bastidor d'acabats en níquel i crom: *Empresa A*.
- b) Empresa mitjana, amb quaranta treballadors, dedicada a l'anodització dura d'alumini mitjançant línies automàtiques en bombo: *Empresa B*.

A continuació, donem pas a l'estudi de viabilitat tècnica i econòmica de bona part de les alternatives de minimització vistes fins ara.

EMPRESA A:

Tipologia: empresa de caire familiar, molt petita, dedicada a niquelatges i cromatges amb línies manuals en bastidor.

Descripció general:

Nombre treballadors: 5 *Hores treball/dia:* 8 *Torns de treball:* 1

Activitat: recobriments electrolítics de níquel i crom decoratiu sobre peces de ferro i llautó.

Tipus d'instal·lació: petita instal·lació manual, amb passadissos i espais entre cubes.

Producció: uns 2,3 milions de dm²/any per a il·luminació *Facturació:* 19.833,99 €/any

Principals contaminants produïts:

Aigües residuals:

- Caracterització: efluents diluïts en continu i concentrats per càrregues amb:
 - pH altament alcalí o àcid, segons el concentrat
 - presència de metalls pesants, com ara ferro, níquel, coure i zenc
 - presència de crom hexavalent
 - altres compostos presents com a sals solubles són clorurs, sulfats i bor
- Règim d'abocament: l'empresa aboca uns 1,4 m³/h, de forma continuada, al llarg de les 8 hores de treball al dia.

Residus industrials:

- Caracterització:
 - Especials:
 - aigües residuals i solucions concentrades de banys esgotats
 - llots de depuració d'efluents
 - envasos de matèries primeres, buits, bruts
 - No especials:
 - residus generals no recollits selectivament

Gestió actual dels contaminants produïts:

Aigües residuals: tractament fisicoquímic consistent en reducció de crom hexavalent a trivalent, mitjançant bisulfat sòdic, coagulació amb clorur fèrric, neutralització amb hidròxid sòdic, floculació amb un polielectròlit aniònic, sedimentació i concentració de llots i el seu assecatge amb filtre premsa.

Residus industrials: excepte les aigües residuals i solucions concentrades de banys esgotats que són tractats en la pròpia empresa, la resta de residus generats per l'empresa són gestionats externament a través d'empreses autoritzades.

Costos de la gestió actual de contaminants:

Per pèrdues de matèries primeres i aigua: 9.616,19 €/any

Aigües residuals: 23.439,47 €/any

Residus industrials: 2.704,55 €/any

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: contaminació d'aigües de rentatge.

Alternativa de minimització: reducció de l'arrossegament.

Opcions de minimització: incorporació de tapajuntes entre cubes del bany i del rentatge posterior.

Altres corrents afectats: cap.

Primeres matèries afectades: totes les que componen els diferents banys de procés.

Processos o productes afectats: tota la planta galvànica.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: 30% de l'arrossegament:

Taula 9

Bany de procés o component	Pèrdua per arrossegament	Estalvi per reducció de pèrdua (30%)	Total estalvi (€/any)
Desgreixatge ultrasons	88,70 kg	26,61 kg	14,38
Desgreixatge electrolític	68,90 kg	20,67 kg	31,31
Decapant	24,64 kg	7,39 kg	14,44
Clorur de níquel	78,85 kg	23,65 kg	50,47
Sulfat de níquel	266,10 kg	79,83 kg	199,11
Àcid bòric	49,28 kg	14,78 kg	11,11
Abrillantadors	24,64 kg	7,39 kg	49,54
Additius	3,94 kg	1,18 kg	3,43
Òxid de crom	147,84 kg	44,35 kg	217,25
Triòxid de crom	177,40 kg	53,22 kg	391,19
Totals	930,29 kg	279,07 kg	1.009,41

Pel que fa a l'aigua de xarxa, considerem que si reduïm l'aportació de contaminants a l'aigua de rentatge un 30%, el cabal de renovació també es podrà reduir en la mateixa proporció; així tenim que els 2.443,7 m³/any es podrien reduir en 733,1 m³. Això suposa un estalvi d'uns 1.005,02 €/any.

Quant a l'aigua destil·lada, també es pot aplicar el mateix raonament, i dels 9,9 m³/any, l'empresa es podria estalviar uns 2,97. Això suposa un estalvi econòmic d'uns 62.48 €/any.

Possible reducció de contaminants: cal aplicar aquí també la mateixa reducció del 30%, donat que totes les matèries primeres que es perden per arrossegament es converteixen en residu, via aigües residuals.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la col·locació de tapajuntes no suposa cap canvi substancial en el procés productiu aplicat per l'empresa; només retorna al bany part del degoteig que es perd en l'arrossegament.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: cap.

Requeriment d'espai: pràcticament nul; justament el que es pretén és ocupar un espai buit per evitar la caiguda al terra de gotes amb sals de productes del bany de procés.

Temps d'implantació: molt reduït; la col·locació de tapajuntes es fa directament a sobre de les cubes implicades.

Requeriments per a la seva utilització: és important donar el pendent adequat al tapajuntes, de forma que es permeti la reincorporació del líquid cap al bany de procés.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* uns 3.01 €. c.u. x 6 cubes de procés = 18,03 €.
- *Instal·lació:* 2 h x 15,03 €/h = 30,05 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **TOTAL: 48,08 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 2.076,91 €/any (càlculs a taula adjunta)
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* (733,1 m³ d'aigua de xarxa + 2,97 m³ d'aigua destil·lada que es deixarien de depurar) x 0,9 €/m³ de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 663,58 €/any
- **Total: 2.740,48 €/any**

Període de retorn de la inversió: uns 6,4 dies.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: contaminació d'aigües de rentatge.

Alternativa de minimització: reducció de l'arrossegament.

Opcions de minimització: introducció de rentatges estancs de recuperació després de determinats banys de procés.

Altres corrents afectats: generació de fangs de depuració.

Primeres matèries afectades: totes les que componen els diferents banys de procés implicats.

Processos o productes afectats: tota la planta galvànica.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars:

Taula 10

Bany de procés o component	Nombre de rentatges estancs de recuperació	Estalvi per reducció de pèrdua	Total estalvi (€/any)
Desgreixatge ultrasons	1	62,09 kg (70%)	97,02
Desgreixatge electrolític	1	48,23 kg (70%)	73,05
Niquelatge	2	380,51 kg (90%)	940,95
Clorur de níquel		70,96 kg (90%)	151,40
Sulfat de níquel		239,49 kg (90%)	597,33
Àcid bòric		44,35 kg (90%)	33,32
Abrillantadors		22,17 kg (90%)	148,62
Additius		3,54 kg (90%)	10,28
Cromatge	3	318,73 kg (98%)	1.987,66
Òxid de crom		144,88 kg (98%)	709,66
Triòxid de crom		173,85 kg (98%)	1.277,66
Totals	7	809,56 kg	3.098,54

Pel que fa a l'aigua de rentatge, considerem que, per cada cuba estanca de recuperació, el cabal d'aigua del rentatge posterior pot reduir-se a 1/5. Per tant, tindriem:

Taula 11

Bany de procés precedent	Cabal d'aigua de renovació (l/h)		Reducció de cabal de rentatge (l/h)	Estalvi econòmic (€/any)
	Actual	amb recuperacions		
Desgreixatge ultrasons	560	112	448	1.080,93
Desgreixatge electrolític	280	56	224	540,47
Niquelatge	2.800	112	2.688	6.485,47
Cromatge	4.480	36	4.444	10.722,48
Totals	8.120	316	7.804	18.829,48

Possible reducció de contaminants: cal aplicar aquí també la mateixa reducció d'1/5 del cabal necessari per cada rentatge estanc de recuperació que es converteix en una aigua residual a tractar; per tant, tindrem una reducció en uns 13.735 m³/ anuals d'aigües residuals.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: com s'ha vist al llarg del present document, els rentatges estancs de recuperació són especialment indicats en aquells banys de procés que operen a temperatura superior als 40 °C, ja que permeten anar retornant al bany aigua i sals, gràcies a les pèrdues per evaporació que aquest experimenta.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: la introducció d'aquests rentatges estancs de recuperació, com ja s'ha vist al document, poden suposar la reintroducció en el bany de certs contaminants generats per impureses presents en els ànodes, per l'atac de la superfície del metall, etc. Per tant, caldrà aplicar sistemàticament uns criteris de control analític per evitar la contaminació del bany.

Requeriment d'espai: cada rentatge estanc de recuperació suposa una cuba a introduir en l'actual línia de procés. Caldrà comptar, doncs, amb l'espai necessari per allargar les línies.

Temps d'implantació: relativament curt; amb uns 3-4 dies es poden fer les modificacions pertinents a les línies de procés.

Requeriments per a la seva utilització: en tractar-se d'un rentatge més, durant el procés no requereix de cap mesura especial; és important, però, recordar que l'empresa haurà de retornar diàriament al bany les pèrdues per evaporació a partir de les recuperacions instal·lades: de l'última recuperació cap a l'anterior, i així successivament, fins a arribar a la primera recuperació que serveix per aportar al bany.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* uns 721,21 € c.u. x 7 cubes de rentatge = 5048,5 €.
- *Instal·lació:* 2 x (32 h x 15,03 €/h) = 961,62 €.

- *Enginyeria:*
- *Serveis:* modificació de conduccions d'aigua de rentatge: 1.502,53 €.
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:* € h diària per reincorporar pèrdues per evaporació x 220 dies/any x 15.03 €/h = 1.652,78 €/any.
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total inversió: 7.512,65 €.**
- **Total costos operatius: 1.652,78 €/any.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars::* 21.928,02 €/any (segons càlculs a taules adjuntes)
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 13.735 m³/any d'aigua de xarxa que es deixarien de depurar) x 0,9 €/m³ de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 12.382,35 €/any.
- **Total: 34.310,37 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 2,8 mesos.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: contaminació d'aigües de rentatge.

Alternativa de minimització: reducció del consum d'aigua de rentatge.

Opcions de minimització: incorporació de rentatges dobles en cascada a contracorrent.

Altres corrents afectats: generació de fangs de depuració.

Primeres matèries afectades: cap.

Processos o productes afectats: estructura de rentatges de la planta galvànica.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: estalvi en el consum d'aigua de rentatge:

Taula 12

Bany de procés precedent	Rentatge senzill actual amb cabal (l/h)	Rentatge doble en cascada (l/h)	Reducció en el consum d'aigua (l/h)	Total estalvi (€/any)
Desgreixatge ultrasons	560	18,0	542,0	1.307,74
Desgreixatge electrolític	280	12,5	267,5	645,42
Decapatge	400	15,0	385,0	928,92
Níquelatge	2.800	39,6	2.760,4	6.660,28
Cromatge	4.480	50,0	4.430,0	10.688,70
Totals	8.520	135,1	8.384,9	20.231,07

Possible reducció de contaminants: cal aplicar aquí també la mateixa reducció per a cada posició de rentatge, donat que totes les aigües de rentatge es converteixen en residuals.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la introducció de sistemes de rentatge múltiples en cascada a contracorrent està àmpliament utilitzada per moltes empreses del sector, i ofereix tots els avantatges esmentats quant a important reducció del cabal de rentatge per a una mateixa qualitat de rentatge.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: cap negativa, en tot cas, millora del rentatge actual.

Requeriment d'espai: la introducció d'aquests rentatges dobles suposa l'allargament de la línia de procés i la intercalació de cubes entre les ja existents.

Temps d'implantació: reduït; bàsicament el temps necessari per moure les cubes per fer lloc als rentatges dobles i fer les noves conduccions d'aigua.

Requeriments per a la seva utilització: cap d'especial; només es requereix respectar el sentit de les peces per les dues cubes connectades, entrant per l'aigua més bruta i sortint per la més neta.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* uns 1.502,3 €. c.u. x 5 cubes de procés = 7.512,65 €.
- *Instal·lació:* 20 h x 15,03 €/h = 30,05 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*

- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total: 7.813,16 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars: 20.231,07 €/any (segons càlculs a taula adjunta)*
- *Estalvi en la gestió de contaminants: 14.757 m³ x 0,9 €/m³ de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 13.303,70 €/any*
- **Total: 33.534,77 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 2,8 mesos.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: contaminació d'aigües de rentatge.

Alternativa de minimització: reducció del consum d'aigua de rentatge.

Opcions de minimització: incorporació de cabalímetres en cada posició de rentatge.

Altres corrents afectats: generació de fangs de depuració.

Primeres matèries afectades: cap.

Processos o productes afectats: cap.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: estalvi en el consum d'aigua de rentatge:

Taula 13

Bany de procés o component	Rentatge senzill cabal (l/h) habitual	Rentatge senzill cabal (l/h) amb cabalímetres	Reducció en el consum d'aigua (l/h)	Total estalvi (€/any)
Desgreixatge ultrasons	1.000	560	440	1.061,63
Desgreixatge electrolític	500	280	220	530,81
Decapatge	700	400	300	723,83
Níquelatge	5.000	2.800	2.200	5.308,16
Cromatge	8.000	4.480	3.520	8.493,05
Totals	15.200	8.520	6.680	16.117,49

Possible reducció de contaminants: cal aplicar aquí també la mateixa reducció per a cada posició de rentatge, donat que totes les aigües de rentatge es converteixen en residuals.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la introducció de cabalímetres permet conèixer i regular les necessitats reals dels cabals de rentatge, i no presenta cap dificultat tècnica en el procés; en canvi, ofereix tots els avantatges respecte al control i la regulació del cabal de rentatge.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: cap negativa, sempre i que es respecti la raó de dilució per cada posició de rentatge.

Requeriment d'espai: la introducció de cabalímetres no suposa cap requeriment d'espai respecte a la línia galvànica.

Temps d'implantació: reduït, al voltant d'unes cinc hores per al conjunt de cubes.

Requeriments per a la seva utilització: cap d'especial; només cal regular el cabal de rentatge amb la vàlvula que porta el propi element.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* uns 270,46 € c.u. x 5 cubes de rentatge = 1.352,28 €.
- *Instal·lació:* 5 h x 15,03 €/h = 75,13 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*

- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total: 1.427,40 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 16.117,49 €/any (segons taula)
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 11.757 m³ x 0,9 €/m³ de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 10.599,15 €/any.
- **Total: 2.676,15 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 19,5 dies.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solucions alcalines amb olis residuals

Alternativa de minimització: reutilització de la solució per la introducció d'un predesgreixatge

Opcions de minimització: implantació de dues cubes de predesgreixatge, una per a cada bany

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar.

Primeres matèries afectades: desgreixatge per ultrasons i desgreixatge electrolític.

Processos o productes afectats: preparació de la superfície metàl·lica a ser recoberta electrolíticament.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 25% del consum de sals i aigua per a la preparació dels desgreixatges.

Possible reducció de contaminants: reducció en un 25% del volum de solució aquosa alcalina amb olis.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: l'aplicació d'aquest mètode s'utilitza de forma moderada dins del sector. En realitat, es tracta de desgreixar en dues cubes —la primera més diluïda— el que actualment es fa amb una.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: la introducció d'un primer bany de desgreixatge permet realitzar millor aquesta operació, i amb això s'aconsegueix un nivell més bo d'eliminació d'olis i greixos. Per tant, es pot dir que millora la qualitat del procés.

Requeriment d'espai: evidentment, cada cuba de predesgreixatge suposa allargar la línia gal·vànica en la mesura que es col·loquen noves cubes de procés.

Temps d'implantació: al voltant d'un dia de muntatge.

Requeriments per a la seva utilització: no es requereix cap condicionant en la seva utilització; simplement, s'han de fer les mateixes operacions habituals que amb el desgreixatge utilitzat.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* 2 cubes x 901,52 € c.u. = 1.803,04 €.
- *Instal·lació:* 1 operari x 1 dia x 8 h x 15,03 €/h = 120,20 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total inversió: 1.923,24 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 25% de 450,76 €/any en ultrasons + 25% de 681,55 €/any en electrolític = 1112,69 €/any + 170,39 €/any = 283,08 €/any; 25% de 2.100 l d'aigua per a l'ultrasons a 1,37 €/m³ + 25% de 8.400 l d'electrolític a 1,37 €/m³ = 0,72 €/any + 2,88 €/any = 3,60 €/any; 283,08 €/any + 3,60 €/any = 286,68 €/any.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 10.500 l de solució alcalina residual/any x 25% = 2.625 l; 2.625 l x 0,27 €/l = 709,95 €/any.
- **Total: 996,62 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 1,9 anys.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solució àcida amb metalls dissolts.

Alternativa de minimització: reutilització de la solució per la introducció d'un predecatatge

Opcions de minimització: implantació d'una cuba de predecatatge

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar.

Primeres matèries afectades: decapatge àcid.

Processos o productes afectats: preparació de la superfície metàl·lica a ser recoberta electrolíticament.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 25% del consum de sals i aigua per a la preparació del decapatge.

Possible reducció de contaminants: reducció en un 25% del volum de solució àcida amb metalls.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: l'aplicació d'aquest mètode s'utilitza de forma moderada dins del sector. En realitat, es tracta de decapar en dues cubes —la primera més diluïda— el que actualment es fa amb una.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: la introducció d'un primer bany de decapatge, permet realitzar millor aquesta operació, i amb això s'aconsegueix un nivell més bo d'eliminació d'òxids metàl·lics. Per tant, es pot dir que millora la qualitat del procés.

Requeriment d'espai: evidentment, la cuba de predecatatge suposa allargar la línia galvànica en la mesura que es col·loquen noves cubes de procés.

Temps d'implantació: sobre 1/2 dia de muntatge.

Requeriments per a la seva utilització: no es requereix cap condicionant en la seva utilització; simplement, s'han de fer les mateixes operacions habituals que amb el decapatge utilitzat.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* 1 cuba x 901,52 € = 901,52 €.
- *Instal·lació:* 1 operari x € dia x 8 h x 15,03 €/h = 60,01 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total inversió: 961,62 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 25% de 315 l d'àcid clorhídric = 78,75 l; 78,75 l x 0,09 €/l = 7,10 €/any; 25% de 3.150 l d'aigua a 1,37 €/m³ = 1,08 €/any; 7,10 €/any + 1,08 €/any = 8,18 €/any.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 25% de la solució queda com a residu aquós àcid amb metalls = 3.150 l/any x 25% = 787,5 l/any de residu; 787,5 l x 0,15 €/l = 118,32 €/any.
- **Total: 126,50 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 7,6 anys.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solució àcida amb metalls dissolts.

Alternativa de minimització: substitució de la solució de decapatge amb àcid clorhídric

Opcions de minimització: utilització d'àcid sulfúric per decapar les peces de ferro

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar.

Primeres matèries afectades: decapatge àcid.

Processos o productes afectats: preparació de la superfície metàl·lica a ser recoberta electrolíticament.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 15% del consum de sals i aigua per a la preparació del decapatge.

Possible reducció de contaminants: reducció en un 15% del volum de solució àcida amb metalls.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: com hem vist al document, la substitució de l'àcid clorhídric per sulfúric, a part de tenir un efecte decapant molt similar, té l'avantatge de permetre el control del grau d'atac de l'àcid sobre el ferro, per mitjà de la temperatura del bany, amb la qual cosa aconsegueix l'allargament de la vida útil del bany.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: la substitució d'un àcid per un altre permet realitzar millor aquesta operació, gràcies al control del grau d'atac sobre el ferro. Per tant, es pot dir que millora la qualitat del procés.

Requeriment d'espai: la mateixa cuba de decapatge serveix per a ambdós àcids.

Temps d'implantació: sobre 1/2 dia de canvi d'un bany per l'altre. Al marge del canvi pròpiament dit, caldrà uns dies per establir el *modus operandi* amb el nou bany.

Requeriments per a la seva utilització: per ser efectiu el sistema, es requereix instal·lar un termòmetre que permeti el control de la temperatura de treball de l'àcid. Un cop fetes les proves necessàries per determinar el grau d'atac necessari, cal fixar l'interval de temperatura de treball del bany i, si escau, escalfar-lo o refredar-lo segons correspongui.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:*
- *Instal·lació:* 1 operari x 1/2 dia x 8 h x 15,03 €/h = 60,01 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:* 1 operari x 1 dia x 8 h x 15,03 €/h = 120,20 €.
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total inversió: 180,3 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 15% de 315 l d'àcid clorhídric = 47,25 l; 47,25 l x 0,09 €/l = 4,26 €/any; 15% de 3.150 l d'aigua a 1,37 €/m³ = 0,65 €/any; 4,26 €/any + 0,65 €/any = 4,91 €/any.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 15% de la solució queda com a residu aquós àcid amb metalls = 3.150 l/any x 15% = 472,5 l/any de residu; 472,5 l x 0,15 €/l = 70,99 €/any.
- **Total: 75,90 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 2,4 anys.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: aigües residuals generades en el procés de rentatge.

Alternativa de minimització: reutilització de part de l'aigua de rentat.

Opcions de minimització: utilitzar l'aigua de rentat del decapatge com a rentat del desgreixatge electrolític (tècnica de *skip*).

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar.

Primeres matèries afectades: cap.

Processos o productes afectats: cap.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: estalvi del consum d'aigua en la posició del desgreixatge electrolític.

Possible reducció de contaminants: reducció del tractament d'aigua del decapatge.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: l'aplicació d'aquest mètode s'utilitza de forma moderada dins del sector. Com ja s'ha explicat, no presenta cap inconvenient donat que les peces, un cop rentades amb aquesta aigua reutilitzada, passen a la cuba àcida del decapatge.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: cap de significatiu.

Requeriment d'espai: cap.

Temps d'implantació: sobre 1/2 dia de muntatge de conduccions.

Requeriments per a la seva utilització: un cop ben establerta la seva funcionalitat, no requereix cap condicionant en la seva utilització; simplement, s'han de fer les mateixes operacions habituals que en qualsevol rentatge.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:*
- *Instal·lació:* 1 operari x 1/2 dia x 8 h x 15,003 €/h = 60,01 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:* 120,02 € en conduccions de PVC
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- *Altres:*
- **Total: 180,03 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 280 l/h d'aigua de rentatge del desgreixatge electrolític x 1.760 h/any = 493 m³/any; 493 m³ a 1,33 €/m³ = 675,86 €/any.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 493 m³ x 0,90 €/m³ de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 444,45 €/m³.
- **Total: 1.120,30 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns dos mesos.

EMPRESA B:

Tipologia: empresa mitjana, dedicada a l'anodització dura d'alumini mitjançant línies automàtiques en bombo.

Descripció general:

Nombre treballadors: 49 *Hores treball/dia:* 24 *Torns de treball:* 3

Activitat: rectificació i anodització dura d'alumini

Tipus d'instal·lació: línia automàtica en bombo

Producció: 25 milions de peces d'alumini per al sector d'automoció

Principals contaminants produïts:

Aigües residuals:

- Caracterització: efluents diluïts en continu i concentrats per càrregues amb
 - pH altament alcalí o àcid segons el concentrat
 - presència d'olis, detergents, etc.
 - presència de metalls pesants, com ara alumini
 - presència de crom hexavalent
 - altres compostos presents com a sals solubles són sulfats, clorurs i nitrats
- Règim d'abocament: al voltant d'uns 10,5 m³/dia, per càrregues

Residus industrials:

- Caracterització:
 - Especials:
 - aigües residuals i solucions concentrades de banys esgotats
 - llots de depuració d'efluents
 - solucions àcides i alcalines amb olis
 - No especials:
 - residus generals no recollits selectivament

Gestió actual dels contaminants produïts:

Aigües residuals: tractament fisicoquímic consistent en reducció de crom hexavalent a trivalent amb bisulfit sòdic, neutralització amb hidròxid càlcic, floculació amb polielectròlit aniònic, sedimentació i concentració de llots i el seu assecatge amb filtre premsa.

Residus industrials: excepte les aigües residuals i solucions concentrades de banys esgotats que són tractats a la pròpia empresa, la resta de residus són gestionats externament, mitjançant gestors autoritzats.

Costos de la gestió actual de contaminants:

Per pèrdues de matèries primeres i aigua: 1.502,53 €/any

Aigües residuals: 11.118,72 €/any

Residus industrials: 32.454,65 €/any

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: contaminació d'aigües de rentatge.

Alternativa de minimització: reducció del consum d'aigua de rentatge.

Opcions de minimització: incorporació d'electrovàlvules temporitzades en cada posició de rentatge.

Altres corrents afectats: generació d'aigües residuals i de fangs de depuració.

Primeres matèries afectades: cap.

Processos o productes afectats: cap.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: estalvi en el consum d'aigua de rentatge:

Taula 14

Bany de procés o component	Rentatge senzill cabal (l/h) habitual	Rentatge senzill cabal (l/h) amb electrovàlvules	Reducció en el consum d'aigua (l/h) ¹¹	Total estalvi (€/any)
Desgreixatge	485	291	194	779,05
Decapatge	485	291	194	779,05
Anodització	1.940	1.164	776	3.116,20
Segellat	970	582	388	1.504,01
Totals	3.880	2.328	1.552	6.232,40

Possible reducció de contaminants: cal aplicar aquí també la mateixa reducció per a cada posició de rentatge, donat que totes les aigües de rentatge es converteixen en residuals:

$$1.552 \text{ l/h} \times 5.760 \text{ h/any} \times 0,01 \text{ €/l} = 123.573,47 \text{ €/any}$$

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la introducció d'electrovàlvules connectades a temporitzadors permet ajustar les necessitats reals dels consums d'aigua de rentatge, no presenta cap dificultat tècnica en el procés i, en canvi, ofereix tots els avantatges quant a una reducció del cabal de rentatge.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: cap negativa, sempre que es respecti la raó de dilució per cada posició de rentatge.

Requeriment d'espai: la introducció d'electrovàlvules temporitzades no suposa cap requeriment d'espai respecte a la línia galvànica.

¹¹ Reducció del cabal d'aigua d'un 40% per a cada posició de rentatge.

Temps d'implantació: reduït, al voltant d'unes deu hores per al conjunt de cubes.

Requeriments per a la seva utilització: cap d'especial; només es requereix regular el cabal de rentatge amb la vàlvula que porta el propi element.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* unes 300,51 € c.u. x 4 cubes de rentatge = 1.202,02 €.
- *Instal·lació:* 10 h x 15,03 €/h = 150,25 €.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil:*
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:*
- *Manteniment:*
- **Total: 1.352,28 €.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 6.232,40 €/any
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 123.573,47 €/any
- **Total: 129.805,87 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns quatre dies.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solucions alcalines amb olis residuals.

Alternativa de minimització: reutilització de la solució mitjançant la seva ultrafiltració

Opcions de minimització: implantació de dues ultrafiltracions, una per a cada bany de desgreixatge

Altres corrents afectats: aigües residuals dels rentatges de desgreixatges a depurar i fangs de depuradora.

Primeres matèries afectades: desgreixatge per ultrasons i desgreixatge químic.

Processos o productes afectats: preparació de la superfície metàl·lica a ser anoditzada electro-líticament.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 95% del consum de sals i aigua per a la preparació dels desgreixatges.

Possible reducció de contaminants: reducció en un 95% del volum de solució aquosa alcalina amb olis.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la tecnologia d'ultrafiltració amb membranes ha estat assajada i implantada amb èxit en empreses del sector. Cal, però, realitzar assajos previs amb mostres reals del producte contaminat, per establir la viabilitat tècnica del sistema i determinar, en tot cas, el tipus de membrana més adequada a cada aplicació concreta.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: la ultrafiltració, en actuar en continu sobre el bany de desgreixatge, permet el manteniment constant d'aquesta solució en unes òptimes condicions de treball. Per tant, es pot dir que millora la qualitat del procés.

Requeriment d'espai: les dues ultrafiltracions adequades a les necessitats de l'empresa poden requerir uns 6 m², aproximadament.

Temps d'implantació: des del moment de la comanda, poden passar ben bé dos mesos en disposar dels equips, ja que les membranes s'han d'importar; sobre 2-4 dies de muntatge i uns 5 dies més per a proves i posada en marxa; tot plegat, poden passar uns 2-3 mesos.

Requeriments per a la seva utilització: la tecnologia de membranes requereix uns controls i manteniments que permetin el seu bon estat; cal, per tant, observar rigorosament les indicacions del fabricant.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* 2 equips x 24.040,48 € c.u. = 48.080,97 €.
- *Instal·lació:* (inclosa en el preu dels equips)
- *Enginyeria:*
- *Serveis:*
- *Posada en funcionament:* (inclosa en el preu dels equips)
- *Valor equip al final vida útil¹²:* 9.616,19 €.
- *Formació:*
- *Primeres matèries:* productes de neteja de les membranes = 240,40 €/any.
- *Gestió de contaminants:* 5% de la solució queda com a residu oliós = 28.350 l d'ultra-

¹² Comptant una amortització de cinc anys.

sons/any + 28.350 l de químic/any = 56.700 l/any de solució desgreixadora; 56.700 l x 5% = 2.835 l/any de residu oliós; 2.835 l x 0,10 €/l = 283,35 €/any.

- *Operació:* uns 901,52 €/anuals entre mà d'obra i electricitat.
- *Manteniment:* uns 601,01 €/anuals de mà d'obra.
- *Altres:*
- **Total inversió: 38.464,77 €.**
- **Total costos operació: 2.026,29 €/any.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:*
- 95% de desgreixatge: 7.212,15 €/any x 95% = 6.851,54 €/any.
- 95% de l'aigua per preparar el desgreixatge: (28,35 m³ (cuba ultrasons) + 28,35 m³ (cuba químic)) - 1,5 m³ (corresponent a la part en sals comprades) = 55,2 m³; 55,2 m³ x 95% = 52,44 m³ a 0,7 €/m³ = 36,56 €/any.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* (28,35 m³ (cuba ultrasons) + 28,35 m³ (cuba químic)) x 95% d'estalvi = 53,86 m³ de solució alcalina residual/any; 53.860 kg x 0,10 €/kg = 5.383,22 €/any.
- **Total: 12.271,31 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 3,7 anys.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solucions alcalines amb olis residuals

Alternativa de minimització: reutilització de la solució mitjançant la introducció de cubetes estanques de recuperació.

Opcions de minimització: implantació de dos cubetes, una per a cada bany de desgreixatge

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar

Primeres matèries afectades: desgreixatge per ultrasons i desgreixatge químic

Processos o productes afectats: preparació de la superfície metàl·lica

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 70% l'arrossegament de sals i aigua procedents dels desgreixatges.

Taula 15

Bany de procés	Pèrdua per arrossegament	Estalvi per recuperació (70%)	Total (€/any)
Desgreixatges	670,46 l	469,32 l	1,41
Aigua dels banys	21,67 m ³	15,17 m ³	10,58
Aigua esbandides posteriors ¹³	485 l/h	388 l/h	1.558,10
Total	1.570,09 €/any		

Possible reducció de contaminants: reducció del cabal d'aigua a depurar:

388 l/h d'aigua de rentatge estalviats x 5.760 h/any x 0,1 €/l d'aigua depurada 30.893,37 €/any.

(469,32 l de desgreixatge/any + (15,17 m³ d'aigua del bany x 1000 l/1 m³) x 0,1 €/l = 218,18 €/any.

Total: 31.109,55 €/any.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: donat que el tema s'ha tractat en repetides ocasions al llarg del present document, ens remetem als capítols corresponents del document.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: tenir els mitjans per filtrar els olis del bany; en cas contrari, no es recomana l'alternativa.

Requeriment d'espai: donat que es tracta de línies automàtiques, cada cuba de recuperació suposa transformar la funció d'algunes de les actuals; per tant, l'espai és el mateix.

Temps d'implantació: al voltant d'un dia de muntatge.

Requeriments per a la seva utilització: no es requereix cap condicionant en la seva utilització; simplement, s'han de fer les mateixes operacions habituals que amb el desgreixatge utilitzat. Cal, això sí, incrementar els controls analítics sobre el bany per evitar possibles contaminacions d'olis.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:*
- *Instal·lació:* 1 operari x 1 dia x 8 h x 15,03 €/h = 120,20 €.
- *Enginyeria:*

¹³ En aquest cas, l'estalvi d'aigua ve donat per la reducció a 1/5 part del cabal de rentat sense recuperació.

- Serveis:
- Posada en funcionament:
- Valor equip al final vida útil:
- Formació:
- Primeres matèries:
- Gestió de contaminants:
- Operació: 1/2 h/dia per reintroduir la recuperació a cada bany x 220 dies/any x 15,03 €/h = 1.652,78 €/any.
- Manteniment:
- Altres:
- **Total inversió: 120,20 €.**
- **Total costos d'operació: 1.652,78 €/any.**

Ingressos:

- Venda equips existents:
- Increment preu de venda del producte:
- Increment en la producció:
- Venda i/o valorització de subproductes:
- Estalvi en matèries primeres i auxiliars: 1.570,09 €/any.
- Estalvi en la gestió de contaminants: 31.109,55 €/any.
- **Total: 32.679,64 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns dos dies.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: solucions àcides amb metalls del procés d'anodització.

Alternativa de minimització: reutilització total del bany d'anodització.

Opcions de minimització: implantació d'un equip de retard iònic.

Altres corrents afectats: aigües residuals a tractar

Primeres matèries afectades: àcid sulfúric d'anodització.

Processos o productes afectats: cap.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: estalvi en un 90% aproximat del consum d'àcid sulfúric i d'aigua en el bany d'anodització.

Possible reducció de contaminants: reducció del 90% del cabal d'aigua àcida amb metalls a depurar.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: l'aplicació d'aquest mètode s'utilitza de forma escassa dins del sector, a Catalunya.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: Amb un nivell baix d'alumini dissolt, millora el comportament del bany.

Requeriment d'espai: sobre 1 m².

Temps d'implantació: sobre dos dies de muntatge de conduccions.

Requeriments per a la seva utilització: un cop ben establerta la seva funcionalitat, no requereix cap condicionant en la seva utilització, al marge de les neteges periòdiques de l'equip.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* Un equip per als tres banys d'anodització: uns 36.060,73 €.
- *Instal·lació:* inclosa en el preu de l'equip.
- *Enginyeria:*
- *Serveis:* 300,51 € en conduccions de PVC
- *Posada en funcionament:*
- *Valor equip al final vida útil¹⁴:* 721,21 €.
- *Formació:*
- *Primeres matèries:*
- *Gestió de contaminants:*
- *Operació:* unes 901,52 €/any (comptant l'aigua i l'energia per efectuar el procés de regeneració).
- *Manteniment:* unes 300,51 €/any
- *Altres:*
- **Total: 29.149,09 €.**
- **Total costos operatius: 1.202,02 €/any.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* 90% d'estalvi en la compra d'àcid sulfúric: 22.020 l/any x 90% = 19.818 l/any; 19.818 l/any x 0,22 €/l = 42.872,89 €/any; 42,84 m³/any d'aigua x 90% = 38,55 m³/any; 38,55 m³/any x 0,70 €/m³ = 26,88 €/any;
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 22.020 l d'àcid + 42.840 l d'aigua = 64.860 l/any; 64.860 l/any x 90% d'estalvi = 58.374 l/any; 58.374 l/any x 0,01 €/l = 806,92 €/any.
- **Total: 5.121,70 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 7,4 anys.

¹⁴ Considerant una amortització de cinc anys.

Descripció d'alternatives de minimització

Corrent residual analitzat: aigües residuals de rentatge.

Alternativa de minimització: reutilització de l'aigua de rentatge dels banys d'anodització i segellat.

Opcions de minimització: implantació d'un equip de resines de bescanvi iònic.

Altres corrents afectats: fangs residuals de depuració d'aigües.

Primeres matèries afectades: cap.

Processos o productes afectats: etapes de rentatge dels processos d'anodització i segellat.

Possible estalvi en els consums de primeres matèries i auxiliars: reducció en un 80% del consum d'aigua en aquestes posicions de rentatge:

Taula 16

Bany de procés o component	Rentatge senzill mínim amb cabal (l/h)	Reducció 80% consum d'aigua (l/h)	Total estalvi (€/any)
Anoditzacions	1.940	1.552	6.232,40
Segellats	970	776	3.116,20
Totals	2.910	2.328	9.348,60

Possible reducció de contaminants: reducció en un 80% del cabal d'aigua a depurar per a aquestes posicions de rentatge.

Justificació tècnica de cada opció:

Contrast de la tecnologia: la tecnologia de reciclatge d'aigua mitjançant resines de bescanvi iònic està implantada amb èxit en nombroses empreses del sector.

Efecte sobre la qualitat del procés o producte: l'aigua de rentatge que s'obté amb resines presenta una conductivitat molt baixa, la qual cosa afavoreix el procés de rentatge de peces. Per tant, es pot dir que millora la qualitat del procés.

Requeriment d'espai: un equip de reciclatge d'aigües adequat a les necessitats de l'empresa, pot requerir uns 2-3 m², aproximadament.

Temps d'implantació: un cop l'equip construït (que pot trigar al voltant d'un mes), sobre 1-2 dies de muntatge i 2-3 dies més per a proves i posada en marxa.

Requeriments per a la seva utilització: la tecnologia de resines és força robusta no presenta grans requeriments de manteniment ni control; cal evitar, això sí, el pas per la resina de substàncies orgàniques, com ara tensioactius, olis, etc. o de banys concentrats, especialment, el bany d'anodització, ja que provocaria la immediata destrucció de la resina.

Justificació econòmica de cada opció (en €):

Despeses:

- *Equips:* equip autoregenerable d'uns 500 l de resina, format per carbó actiu, resina catiònica mitjanament forta i resina aniònica mitjanament feble: 33.055,67 €.
- *Instal·lació:* ja compresa amb el preu de l'equip
- *Enginyeria:*
- *Serveis:* conduccions d'aigües fins les cubes de rentatge a recircular: 450,76 €.
- *Posada en funcionament:* ja inclosa en el preu de l'equip
- *Valor equip al final vida útil¹⁵:* 6.611,13 €.
- *Formació:*
- *Primeres matèries:* productes de regeneració de resines = 120,20 €/any.
- *Gestió de contaminants:* 10 l de resina per litre es generen com a aigua residual a tractar en la regeneració: 10 l x 500 l de resina x 2 botelles = 10.000 l; 10.000 l x 0,01 €/l de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 138,23 €/any.
- *Operació:* unes 300,51 €/anuals entre mà d'obra i electricitat.
- *Manteniment:* unes 240,40 €/anuals de mà d'obra.
- *Altres:*
- **Total inversió: 26.895,29 €.**
- **Total costos operatius: 799,35 €/any.**

Ingressos:

- *Venda equips existents:*
- *Increment preu de venda del producte:*
- *Increment en la producció:*
- *Venda i/o valorització de subproductes:*
- *Estalvi en matèries primeres i auxiliars:* els equips de reciclatge per bescanvi iònic permeten una reducció del 80% del consum d'aigua per a cada posició de rentatge implicada: 9.348,60 €/any, segons taula adjunta.
- *Estalvi en la gestió de contaminants:* 2.328 l/h x 5.760 h/any = 13.409.280 l/any; 13.409.280 l/any x 0,01 €/l x de depuració d'aigües i de transport i gestió de fangs de depuració = 185.360,21 €/any.
- **Total: 194.708,81 €/any.**

Període de retorn de la inversió: uns 52 dies.

¹⁵ Comptant una amortització de cinc anys.

7

Conclusions

Encara avui en dia es troben a Catalunya instal·lacions industrials que generen quantitats importants de corrents residuals, no sempre gestionats de la manera més idònia per permetre assolir un bon nivell de qualitat ni laboral ni mediambiental. Respectar l'objectiu de protegir dia a dia el nostre entorn s'ha convertit en una necessitat vital per a tots nosaltres.

L'empresari que decideix endegar un projecte industrial ha de comptar no només amb aspectes de producció, sinó, cada cop més, amb factors globalitzadors d'entrades i sortides de matèries i energia. La seva activitat no es trobarà aïllada de la resta; ben al contrari, formarà part d'un "ecosistema", la vida del qual dependrà de les actuacions individualitzades de cada membre que hi forma part.

El sector d'indústries de tractaments de superfície consumeix una gran varietat de matèries primeres, així com unes quantitats d'aigua importants amb relació a les dimensions de les instal·lacions industrials de què disposa. Conseqüentment, genera com a elements residuals quantitats importants de compostos que, gestionats incorrectament, posen en perill el funcionament del sistema en si. Cal remarcar, a més, la importància d'aquest sector a Catalunya.

Fins fa uns anys, a la gestió del sector es considerava els importants consums de matèries i d'aigua com quelcom imprescindible per al bon funcionament de la seva producció; de fet, no es tractava de costos massa elevats per a la seva economia productiva, i així s'assegurava un bon producte final. Amb els sistemes de depuració a final de línia, hom pensava disposar de la millor solució envers el medi ambient.

Aquests condicionants han portat a plantes de procés galvànic dissenyades incorrectament i poc adaptades a les necessitats, presents o futures, de les empreses. A més, hi havia (i encara hi pot haver) una visió parcial de la correcta gestió ambiental, que es limitava a incloure, com a continuació de la línia productiva, la instal·lació corresponent al tractament fisicoquímic de les aigües residuals i a gestionar, d'acord amb la legislació ambiental, els residus i les emissions atmosfèriques de la indústria, sense considerar la possibilitat de disminuir la quantitat d'aquestes corrents residuals que, si es pensa fredament, no són més que matèries primeres i recursos energètics que no s'han transformat en producte acabat, sinó que s'han de gestionar com a corrents residuals.

Amb aquest document s'ha volgut donar a conèixer i posar a disposició dels industrials del sector, orientacions que permetin aconseguir optimitzar el seu procés productiu de manera que

s'obtingui una gestió empresarial que integri els conceptes ambientals. És a dir, que s'aconsegueixi la minimització dels corrents residuals d'una manera coherent amb les necessitats de producció, d'una manera **ecoeficient**.

Fent una visió ràpida del procés productiu, podem considerar l'arrossegament com la font més significativa de pèrdua de matèries primeres i d'aigua, així com el principal causant de la major part d'aigües residuals i residus, bona part de les alternatives tractades al llarg del present document es basen en la seva reducció i recuperació. Així, tant el capítol sobre reducció en origen com el de recuperació i reciclatge tenen com a principal objectiu actuar sobre l'arrossegament a la planta galvànica.

Dins de l'apartat corresponent a la reducció en origen de la contaminació, s'ha pogut veure la substitució de matèries primeres i de processos, l'allargament de la vida dels banys, la reducció dels arrossegaments, com a punts principals. També s'ha abordat l'aspecte de la introducció de millores en els sistemes d'esbandida i rentatge (rentatges en cascada a contracorrent, rentatges estancs o ECO, etc.). Pel que fa a la recuperació i reciclatge en origen, s'han tractat aspectes com ara la recuperació de matèries primeres (desgreixatge, decapatge i productes d'aportació), reutilització de l'aigua (mitjançant equips de resines de bescanvi iònic i per osmosi inversa), així com la recuperació dels arrossegaments (per electròlisi, electrodiàlisi, electròlisi-electrodialisi, osmosi inversa, ultrafiltració, evaporació i bescanvi iònic). A part de solucions relativament senzilles i poc costoses, s'han pogut analitzar altres possibilitats més elaborades, amb graus d'inversió creixents. Per la seva importància i característiques pròpies, l'apartat corresponent a les bones pràctiques mediambientals ha merescut un capítol a part, així com el capítol dedicat a les alternatives de tractament d'efluents.

Per tant, es pot afirmar que el sector disposa d'una gran varietat i nombre de solucions, de cost també molt variable, ja sigui per economitza el consum d'aigua i de primeres matèries, com per reduir la generació de corrents residuals.

És recomanable, per tant, realitzar un estudi previ per establir les opcions més adequades a cada cas. Aquest estudi, en essència, ha de definir els sistemes més òptims de reducció dels consums, establint-hi les estructures de procés, els equips de recuperació i els sistemes de depuració.

Es tracta, en poques paraules de *racionalitzar* una activitat industrial molt satisfactòria professionalment i plena de reptes —en tots els terrenys— encara per assolir.

8

Alguns exemples reals per a les alternatives proposades

A continuació s'adjunten exemples concrets d'empreses catalanes que han implantat una o més alternatives de minimització. Aquests exemples estan extrets de les Fitxes de producció més neta publicades pel Centre per a l'Empresa i el Medi Ambient, SA:

Fitxa 1. Minimització de residus en un procés de niquelatge químic. Electroless Hard Coat, SA (ELHCO).

Fitxa 9. Producció més neta en un establiment del sector de banys galvànics mitjançant l'adopció de bones pràctiques i canvis en el procés. Industrias F. Sandoval, SL.

Fitxa 10. Minimització del volum d'efluents i reducció del consum de matèries primeres en un procés de mordentatàcia àcida de peces d'ABS. Linecrom, SA.

Fitxa 14. Minimització de residus i estalvi de recursos en una empresa del sector metal·lúrgic. Tecnoform, SA.

Fitxa 18. Substitució de tricloroetilè per netejadors de base aquosa i minimització del residu generat en el nou procés. Tratamientos térmicos Badia, SA.

Fitxa 20. Minimització de residus substituint el percloroetilè per un netejador de base aquosa en el desgretatge. Frape Behr, SA.

Fitxa 23. Substitució del bany de zinc cianurat. Zincats Industrials Canovelles, SL.

Fitxa 26. Substitució d'un procés de pavonatge per un de granallatge. Cabré, SA.

Fitxa 28. Recuperació de banys de rentatge i substitució de zinc cianurat. Simon, SA.

Fitxa 34. Reducció dels residus generats en l'emmagatzematge de matèries primeres. Tratamientos y Acabados por Cataforesis, SA (TACSA).

Fitxa 36. Minimització de residus mitjançant un canvi de procés en la fabricació de prestatgeries. Mecalux, SA.

Fitxa 43. Reutilització de les aigües de procés i minimització del volum d'aigües residuals a tractar. Ruffini, SA.

Fitxa 44. Reducció d'arrossegaments en el procés de cromatge. Manuel Muñoz Clarós, SL.

Fitxa 45. Recuperació dels olis de tall emprats en la mecanització de peces metàl·liques. Baldomero Ventura, SL.

Fitxa 56. Eliminació del tricloroetilè en la fabricació de peces metàl·liques. Sasonia de Corte Fino, SA.

Bibliografia

ADEME. *Étude technique et économique de l'utilisation des solvants dans huit secteurs industriels*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. França. 1995.

AMETLLER, J. *Depuración de efluentes producidos por instalaciones de tratamiento de superficies*. Institut de Tecnologia i Modelització Ambiental. Terrassa. Juny de 1993.

BARA, J.C. *Traitement de surface. Environnement et compétitivité*. París. 1988.

BREUIL, J.N. *Traitement de surface. Dépollution à la source*. Cahiers Techniques de la Direction de la Prévention des Pollutions. Ministère de l'Environnement. París. 1986.

CORDERES, J. *Estudi i sistematització de les tecnologies de prevenció de la contaminació i producció neta en el sector de banys galvànics*. No publicat. Barcelona, 1999.

DEPARTAMENT DE MEDI AMBIENT. Generalitat de Catalunya. *Galvanotècnia i medi ambient. Guia pràctica per a una correcta gestió ambiental a les empreses de galvanotècnia*. Barcelona, 1a i 2a edició 1992 i 1994.

HARTINGER, L. *Handbook of effluent treatment and recycling for the metal finishing industry*. Finishing Publications, Ltd. Wiltshire. 2a edició. 1994.

KUSHNER, J.B. *Water and waste control for the plating shop*. Gardner Publications, Inc. Ohio. 1976.

NOYES DATA CORPORATION. Hazardous waste reduction in the metal finishing industry. PCR Environmental Management, Inc. Califòrnia. 1989.

OECD. *Managing wastes containing cyanides: guidance document*. Organisation for Economic Co-operation and development. París. 1992

UNEP. *Environmental management in the electronics industry. Semiconductor Manufacture and Assembly*. Technical Report n.º 23. United Nations Publication. 1a edició. 1994.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guides to pollution prevention. The metal finishing industry*. Ohio. 1992.

Entitats i persones que han col·laborat en l'elaboració d'aquest document

AMBIOMA CONSULT, S.L. (BIOMA)
EDELAMP, S.A.
ENTHON-OMI (ESPAÑA), SA
ESPAÑOLA DE ELECTRÓLISIS, S.L. (FORPEZ)
INDUSTRIA GALVÁNICA SAMA, S.A.
MACDERMID, SA
SIDASA, SA
TRELLEBORG AUTOMOTIVE SPAIN, S.A.
3 M (ESPAÑA), SA
USF (ESPAÑA), SA
Sr. Carles Ventura
Sr. José A. Ortega

Algun web d'utilitat relacionat amb el projecte:

<http://www.gencat.es/mediamb/>: web del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.

<http://www.cema-sa.org>: web del Centre per l'Empresa i el Medi Ambient.

<http://www.epa.gov/>: U.S. Environmental Protection Agency.

<http://www.cygnus-group.com:9011>: reducció de residus amb especial atenció a la reducció i reciclatge en origen.

<http://www.euler.berkeley.edu/green/cgdm.html>: informació i estudis sobre la producció neta.

<http://www.acs.org>: la Societat Química Americana.

<http://www.envirolink.org>: important font d'informació ambiental que connecta amb moltes altres adreces d'internet.