

anódica. Estas capas de óxido pueden ser teñidas en forma permanente, normalmente con tintes orgánicos.

En el proceso de anodizado, se siguen generalmente los siguientes pasos:

- Limpieza previa del producto básico con percloroetileno (tetracloroetano)
- Preesmerilado, esmerilado fino y pulido (procesos mecánicos)
- Segundo desengrasado con percloroetileno (tetracloroetano)
- Desengrasado final mediante un baño de limpieza corto en lejía de soda (solución de hidróxido de sodio al 10-20% concentración)
- Pulido químico en baños con contenido de ácido fluorhídrico. Los baños de pulido contienen ácido fluorhídrico, ácido nítrico y fluoruro de hidrógeno amónico en solución acuosa.
- Anodización en baños de ácido sulfúrico al 10 a 30% en peso. Los baños son muy efectivos cuando contienen aluminio en cantidades de 6 a 9 gramos por litro. Es posible obtener niveles de hasta 24 g/l, pero más allá de ese nivel será necesario reemplazar el licor. Con frecuencia, los baños se mantienen en el nivel de concentración adecuado removiendo constantemente pequeñas cantidades de licor y rellenando de inmediato el recipiente con ácido fresco; esto significa que el licor no llega a ser reemplazado por completo.

Los concentrados de ácido utilizados, los semiconcentrados y el agua de enjuague, suelen neutralizarse empleando hidróxido de calcio.

Al analizar la descarga proveniente de una planta de neutralización y sedimentación dentro de una instalación de anodizado, con un efluente mixto de aguas residuales domésticas e industriales y con presencia de fluoruro en un porcentaje muy alto de los efluentes, se halló un contenido de fluoruro que oscilaba entre 7,8 y 11,7 mg/l.

La neutralización de concentrados y semiconcentrados en el proceso de anodizado da como resultado grandes cantidades de lodo. El lodo contiene principalmente fluoruro de calcio, sulfato de calcio e hidróxido de aluminio. El drenaje de estos compuestos puede realizarse eficientemente usando un filtro prensa. En este proceso se obtiene materias sólidas en un 40-45% del peso.

2.4.1.2.6 Aguas residuales de plantas de electrogalvanizado

En la industria metalúrgica, se utilizan procesos electrolíticos para obtener precipitados metálicos para mejorar la calidad de la superficie. Primero, el metal es pretratado para remover la herrumbre, la suciedad y la grasa. Este tratamiento previo consta de un proceso electrolítico que consiste en baños con una concentración de cianuro entre 5 y 10 g CN⁻/l. Además, también sirve para desescamar el metal, es decir, para eliminar todo tipo de recubrimiento metálico para luego inactivarlo.

La galvanización o recubrimiento de la superficie con una capa metálica conlleva diversos procesos fisicoquímicos. Como se indica en el Cuadro 2.4.-15 /158/, para dicho propósito se utilizan los siguientes metales: cobre, bronce, zinc, cromo, níquel, cadmio y, posiblemente, también metales preciosos como plata y oro. Los productos se colocan en baños de galvanizado. Los licores del baño son soluciones acuosas que por lo general contienen principalmente sales de cianuro, además de sales metálicas.

Los residuos de las plantas de galvanizado eléctrico contienen las mismas sustancias que se utilizan para preparar los baños. Cuando se usan baños alcalinos, existe también descarga de sales alcalinas. Por otro lado, el efluente de una planta de galvanizado de cromo duro contiene ácido crómico no combinado y dicromatos, lo cual produce una reacción neutra o ligeramente ácida.

CUADRO 2.4.-15
PRINCIPALES METALES USADOS EN BAÑOS DE GALVANIZADO ELECTRICO /158/

	alcalino con cianógeno	ácido sin cianógeno
Plata	sólo cianídico	-
Cadmio	principalmente cianídico	-
Cromo	-	principalmente ácido
Cobre	principalmente cianídico	-
Níquel	-	principalmente ácido
Zinc	principalmente cianídico	-
Bronce	principalmente cianídico	-

La concentración de las aguas residuales fluctúa considerablemente y depende de las condiciones técnicas de trabajo. Para plantas en condiciones normales, la proporción de sustancias tóxicas características en cada caso (CN^- , Cr^{3+} , Cd^{2+} , etc.) rara vez está por debajo de los 10 mg/l y puede alcanzar los 1000 mg/l. El Cuadro 2.4.-16 muestra la composición de los licores para baños de cianuro (BORCHERT /34/).

CUADRO 2.4.-16
COMPOSICION DE LOS LICORES DE BAÑOS DE CIANURO /34/

Electrolito de cobre Cobre (Cu) Cianuro (CN) Acido tartárico	14-20 g/l 22-27 g/l 0-15 g/l	Electrolito de cadmio Cadmio (Cd) Cianuro (CN)	10-20 g/l 40-50 g/l
Electrolito de zinc Zinc (Zn) Cianuro (CN) NaOH	20-35 g/l 30-50 g/l 40-90 g/l	Electrolito de plata Plata (Ag) Cianuro (CN) K ₂ CO ₃	3-30 g/l 20-40 g/l 0-100 g/l
Electrolito de bronce Cobre (Cu) Zinc (Zn) Cianuro (CN) NaOH	10-30 g/l 5-30 g/l 25-80 g/l 0-15 g/l	Electrolito de oro Oro (Au) Cianuro (CN) Na ₂ HPO ₄	0,5-4 g/l 2-10 g/l 70 g/l

Un baño de cromo puede contener hasta 400 g de ácido crómico/l, además de ácido sulfúrico y sal de cromo.

Los compuestos cianógenos simples son letales cuando alcanzan una concentración de aproximadamente 1 mg CN⁻/l kg de peso corporal.

En el caso del cromo y sus compuestos, es probable que los niveles de 2-3 mg Cr/l sean dañinos. Las sales de cobre también empiezan a ejercer efectos dañinos en concentraciones similares. Los compuestos de zinc son ligeramente menos tóxicos.

Sin embargo, cuando se mezclan, algunas sustancias pueden producir un efecto tóxico mayor que la suma de sus niveles individuales de toxicidad. Además, los efectos tóxicos se incrementan conforme aumenta la temperatura del agua y su contenido de oxígeno disminuye.

En el Cuadro 2.4.-17 (NEMIROV /119/), se muestra la composición de las aguas residuales de lavado provenientes de plantas de galvanizado eléctrico.

CUADRO 2.4.-17
COMPOSICION DE ALGUNAS AGUAS RESIDUALES DE LAVADO PROVENIENTES
DE PLANTAS DE GALVANIZADO ELECTRICO /119/

Tratamiento	Concentración en aguas residuales de lavado, mg/l
Recubrimiento de cobre que utiliza: Cianuro de cobre Cianuro de sodio Carbonato sódico	2,8 - 14 (Cu) y 58 - 290 (CN)
Recubrimiento de cadmio que utiliza: Oxido de cadmio Cianuro de cadmio Cianuro de sodio	48 - 240 (Cd) y 120 - 600 (CN)
Recubrimiento de zinc que utiliza: Cianuro de zinc Cianuro de sodio Nitrato sódico	70 - 350 (Zn) y 102 - 510 (CN)

2.4.1.3 Aguas residuales de minas y de plantas de desbaste de minerales

Las aguas residuales de las minas contienen, principalmente, sustancias inorgánicas provenientes de la extracción y beneficio de minerales; siendo similar el caso de las minas de carbón, las canteras de pizarra o las minas de sal.

En las minas de carbón existen cinco tipos distintos de aguas residuales, las cuales difieren en cuanto a cantidad y composición (HUSMANN /71/):

- aguas de excavación (o de minas)
- aguas de baños en la bocamina
- residuos del lavado y desbaste del carbón
- residuos de la elaboración de coque
- aguas de enfriamiento del coque

2.4.1.3.1 Aguas de excavación (o de minas)

En las minas de carbón se acumulan aguas subterráneas, ya sea porque existen en forma natural o porque se infiltran de masas de agua superficial. Estas aguas residuales deben ser drenadas y trasladadas mediante bombas.

La cantidad depende principalmente de las características geológicas de la zona. En la región de Emscher, se tiene que bombear aproximadamente 1 m^3 de aguas subterráneas por cada tonelada de carbón extraído. En las minas de carbón sin material de recubrimiento, la cantidad de aguas subterráneas es de $7,75 \text{ m}^3/\text{t}$ de carbón extraído. Por otro lado, en las minas de carbón con material de recubrimiento, esta cantidad llega sólo a $0,96 \text{ m}^3/\text{t}$.

Las aguas de excavación o de mina son ácidas. Pueden estar contaminadas con sólidos suspendidos y sustancias disueltas de diversos tipos, principalmente cloruro de sodio, pero también cloruro de calcio, magnesio y bario y, algunas veces, los sulfatos respectivos. Las aguas de excavación también contienen diferentes sales metálicas (sulfato de hierro, níquel y magnesio y compuestos de arsénico). La proporción de sulfato de sodio, que proviene del cloruro de sodio, está sujeta a considerables fluctuaciones.

En la cuenca carbonífera de Rin-Westfalia, el agua de excavación contiene frecuentemente 10 a 20 mg/l de cloruros (SIERP /158/). En raros casos el nivel se eleva hasta 50 g/l, con casos aislados de 200 g/l. HUSMANN /71/ menciona niveles de cloruros entre 0,5 g/l y 100 g/l.

El Cuadro 2.4.-18 nos muestra la composición de aguas residuales provenientes de minas de carbón de la región del Ruhr, según MEINCK y otros /107/.

CUADRO 2.4.-18
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA MINA DE CARBON EN LA REGION
DEL RUMR /107/

	Gneisenau	Engelsburg			Constantin	
	Nivel 2	nivel a 554 m	Nivel 7	nivel a 883 m	1/2/2a	Nivel 2
Apariencia:	clara	-	turbia	clara	clara	clara
pH:	7,70	6,74	7,34	7,14	7,39	7,83
Densidad (kg/l) a 20°C:	1,0015	1,0042	1,0123	1,059	1,0072	1,0110
mg/l						
Residuos secos a 105°C:	1150	4368	16870	100700	10050	16700
Materia suspendida:	18	38	153	-	29	7
orgánica:	7	14	109	-	12	4
inorgánica:	11	24	44	-	17	3
Tierra arcillosa + Oxido de hierro:	22	-	5	-	10	-
Calcio	200	254	684	4148	616	2598
Estroncio } Oxido	-	-	-	-	-	-
Bario } Oxido	-	-	-	1634	-	-
Magnesio	45	218	223	1692	208	262
Cloruros (Cl)	532	-	9928	53899	4964	8865
Sulfatos (SO ₄)	232	1991	449	-	515	0
Oxido de silicio (SiO ₂)	20	12	18	18	10	20
Dureza (DG)						
Total	26,3	55,9	00,6	711,2	100,7	296,2
Cálcica	20,0	25,4	68,4	474,4	61,6	259,8
Magnesiana	6,3	30,5	31,2	236,8	39,1	36,4
Dióxido de carbono sin combinar	-	-	14,7	-	18,4	0,5
Oxígeno sin combinar	-	-	-	-	-	8,2

2.4.1.3.2 Aguas residuales de los baños en la bocamina (pozo de minas)

Las aguas de lavado que provienen de baños y lavabos utilizados durante los cambios de turno, y así como el agua de los inodoros, fluyen en picos coincidentes con dichos cambios de turno. Contienen jabón, heces y polvo de carbón. La cantidad de agua varía entre 30 y 100 litros diarios por persona, según sea el consumo de agua, con un promedio de 60 litros por persona (SIERP /158/, MEINCK /107/).

De acuerdo a los análisis de la región de Emscher publicados por BACH /107/, esta agua normalmente tiene una reacción ligeramente alcalina y algunas veces muestra más de 1 g/l de sustancias no disueltas (mayormente orgánicas), varios 100 mg/l de sustancias disueltas (incluyendo cloruros) y un consumo de permanganato de potasio de más de 300 mg/l.

2.4.1.3.3 Aguas residuales del lavado y desbaste de carbón

Después de extraído, el carbón se clasifica inmediatamente según el grosor del grano; luego es separado de la roca estéril y, posteriormente, se desbasta mediante procesos húmedos o secos. Los procesos húmedos son los que más se usan.

La cantidad de agua de lavado en circulación depende del carbón a ser desbastado y del grado de pureza que se exige para el producto final. En promedio, se necesitan aproximadamente 3 a 4 m³ por tonelada de carbón fino y aproximadamente 5 a 6 m³ por tonelada de carbón en trozos de 3/4 a 1 1/2 pulgadas. El agua adicional puede calcularse de acuerdo a una proporción aproximada de 30 m³ por 100 toneladas de carbón fino y de aproximadamente 20 m³ por 100 toneladas de carbón en trozos de 3/4 a 1 1/2 pulgadas.

Las aguas de lavado provenientes del desbaste húmedo del carbón, tienen un aspecto turbio, casi negro; contienen diferentes cantidades de partículas de carbón y arcilla, en grano fino y polvillo; así como sales disueltas y sustancias orgánicas resistentes a la descomposición. El agua de lavado del carbón de una mina en la región de Emscher que utilizaba agua de grifo del sistema de abastecimiento de agua, contenía 1,28 g/l de sólidos suspendidos (0,747 de los cuales eran inorgánicos) y 0,575 g de sustancias disueltas (de las cuales, 0,515 g eran inorgánicas), mientras que el agua de lavado del carbón de otra mina en la misma región pero que utilizaba agua de grifo dentro de un sistema de recirculación tenía 18 g/l de sólidos suspendidos (de los cuales 3,85 g eran inorgánicos) y 1,38 g de sustancias disueltas (de las cuales 1,3 g eran sustancias inorgánicas y 0,56 g eran cloruros). El consumo de permanganato de potasio en ambas aguas residuales tenía un nivel entre 30 y 40 mg/l y la cantidad de compuestos de nitrógeno se encontraba por debajo de 10 mg/l.

2.4.1.3.4 Aguas residuales de plantas de coque de antracita

Cuando la antracita es carbonizada, el gas que emerge de los hornos de coque contiene vapor de agua, el cual se condensa al enfriarse el gas. El agua condensada contiene productos residuales del carbón. La cantidad, la concentración y los componentes, dependen del tipo de carbón usado, de las condiciones de la planta durante la carbonización (tal como la temperatura y el tiempo de calentamiento), así como de los procesos utilizados para tratar el gas de coque. La cantidad de aguas residuales, que consiste en aguas condensadas y, según el proceso usado, en aguas de lavado y en aguas condensadas provenientes del proceso de arrastre de los gases mediante una corriente de vapor, es de aproximadamente 0,08 a 0,38 m³ por tonelada de carbón, según sea la variación del tipo de tratamiento del gas utilizado.

GROSS y DENNE* presentan las siguientes cifras para la carbonización de antracita en Saarland:

Temperatura de calentamiento media, en grados centígrados	1188 - 1317
Cantidad de aguas residuales	0,163 - 0,154 m ³ /t de carbón
Cantidad de fenol	0,434 - 0,202 kg/t de carbón

Los efluentes contienen en forma disuelta, amoníaco, derivados de ácido carbólico, fenoles, bases piridinas, cianuros, tiocianatos y sulfuros, además de pequeñas cantidades de cationes inorgánicos presentes en la forma de sales de ácidos minerales. El alquitrán y los aceites se encuentran dispersos y son eliminados en la etapa de tratamiento primario mediante sedimentación (alquitrán) o flotación en separadores por gravedad.

Las sustancias restantes son:

Amoníaco. Su contenido puede alcanzar niveles de hasta 10 g de NH₃ total por litro; del 65 al 90% del amoníaco está en enlace con ácidos débiles. Cuando las soluciones acuosas entran en ebullición, este amoníaco se separa y pasa a ser arrastrado por el vapor. El amoníaco que está en enlace con ácidos fuertes (alrededor del 10 al 35% del total de amoníaco) permanece en la solución durante este proceso y sólo puede ser arrastrado por el vapor después de haber sido liberado utilizando bases fuertes (hidróxido de calcio o lejía de soda).

Este comportamiento es significativo desde un punto de vista analítico y técnico, por lo que se distingue entre compuestos amoniacales volátiles y fijos.

Volátiles: NH₄OH, (NH₄)₂CO₃, NH₄HCO₃, (NH₄)₂S, NH₄HS, NH₄CN

Fijos: NH₄Cl, (NH₄)₄ Fe (CN)₆, (NH₄)₂S₂O₃, (NH₄)₂SO₄, NH₄CNS

Existen además, compuestos de NH₄⁺ con ácidos orgánicos y fenoles.

Fenoles. Cuando el agua de un río que contiene fenol pasa a ser clorada en las plantas de tratamiento de agua potable, se pueden formar clorofenoles, los que confieren al agua un sabor desagradable. Las concentraciones de fenol en las aguas residuales de plantas de coque fluctúan entre 0,5 y 3,5 g/l.

Los Cianuros y Sulfuros son sustancias que podrían también tener efectos dañinos.

* GROSS, R. y DENNE, A., "Betriebserfahrungen mit einer Anlage zur biologischen Behandlung phenolhaltiger Kokereiabwasser", Stahl und Eisen 88, No. 6, 1968

2.4.1.3.5 Agua de apagado del coque

La calidad del agua para el apagado del coque depende principalmente del carbón que se utiliza. La cantidad del efluente es en verdad reducida, dado que la mayor parte del agua se evapora. Esta cantidad se estima entre 0 y 0,5 m³/t de coque apagado.

Las descargas de plantas de carbonización de antracita, cuyos hornos de coque trabajan con temperaturas alrededor de los 600°C, contienen más fenol que el resto de plantas de fabricación de coque cuyos niveles de fenol alcanzan aproximadamente de 6,5 a 8,5 g de fenol total/l; de los cuales alrededor de un 85 a 95% puede destilarse con vapor.

Los residuos de carbonización de lignito contienen hasta 30 g de fenol total/l, 16 g de ácidos orgánicos volátiles/l y una DBO₅ de hasta 50 g/l.

2.4.1.3.6 Aguas residuales de la fabricación de carbón vegetal

En forma similar, la destilación de madera en retortas (la carbonización en grandes cantidades produce aguas residuales) da como resultado, junto con productos de descomposición, condensados enriquecidos que son de tipo ácido. La cantidad de condensados es mayor en la destilación de madera que en la producción de coque a partir de antracita. Con un pH de 3, los condensados contienen alrededor de 90 g de ácidos orgánicos/l (relacionados al ácido acético), aproximadamente 12 g de metanol/l y unos 6 g de fenol/l, con características similares al ácido carbónico.

2.4.1.4 Aguas residuales de la industria química

Las plantas químicas que producen o procesan ácidos inorgánicos, tales como ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico, o bases como soda cáustica, soda y cloro, descargan asimismo residuos inorgánicos.

Las descargas de las industrias de fertilizantes químicos y de potasa, así como las fábricas de pentasulfuro de antimonio y flúor, las plantas de acetileno, las plantas nucleares, etc., revisten cualidades especiales. Estas descargas contienen principalmente sustancias inorgánicas, tales como ácidos, álcalis libres y tierras alcalinas, junto con sus sales libres y rara vez solubles.

Las descargas de las fábricas que producen tintes, medicamentos, plaguicidas, pólvora y explosivos, jabón, detergentes y velas, contienen además de materia inorgánica, sustancias orgánicas de variado origen y con diferentes propiedades.

Existen múltiples industrias de productos químicos inorgánicos; a continuación se presentan sólo algunos ejemplos:

2.4.1.4.1 Aguas residuales provenientes de la producción de ácidos minerales

Los ácidos minerales son uno de los productos más importantes de las plantas químicas.

Se utilizan grandes cantidades de agua, principalmente para propósitos de refrigeración; pero se producen también grandes cantidades de aguas residuales con contenido de ácidos y álcalis.

El ácido sulfúrico se utiliza en grandes cantidades en la producción de fertilizantes químicos, tintes, explosivos, etc. El mismo se obtiene calcinando minerales sulfúricos, por ejemplo pirita, para obtener dióxido de azufre (SO_2), el cual posteriormente pasa a ser oxidado a SO_3 , utilizando ya sea el antiguo proceso de la cámara de plomo o el más reciente de contacto, para luego combinarlo con agua y obtener H_2SO_4 . Estos procesos dan como resultado:

- Aguas de infiltración, compuestas por agua de lluvia que se infiltra a través de los terrenos donde se descargan los residuos y cuyas propiedades son iguales a las de las aguas residuales de minas y plantas de extracción de minerales;
- Aguas de lavado y ácidos de lavado, que contienen ácidos arseniosos y partículas de metal, dependiendo del origen de los residuos;
- Aguas de refrigeración, que contienen ácidos y aguas residuales con contenido de fenol y otros residuos, dependiendo de los procesos de producción utilizados.

Hoy en día, el ácido nítrico se produce casi exclusivamente mediante la oxidación del amoníaco en contacto con el platino. Como producto de la combustión, este proceso genera además de óxidos de nitrógeno, agua que se condensa hasta formar un ácido nítrico altamente diluido (aproximadamente 2%) al enfriarse los gases de la reacción. Las demás aguas residuales de este proceso son las aguas de refrigeración.

El ácido clorhídrico generalmente se fabrica mediante el proceso del sulfato sódico. En algunos casos, se usa todavía el proceso de HARGREAVES (con gases de calcinamiento), al igual que otros procesos sintéticos. El ácido clorhídrico también se obtiene como producto residual en la cloración de sustancias orgánicas. Todos estos procesos dan como resultado aguas de refrigeración, residuales, y descargas débilmente clorhídricas, provenientes del lavado de los gases residuales. La purificación del ácido clorhídrico bruto obtenido mediante el proceso del sulfato sódico, produce residuos que contienen aceite mineral, lodos arsénicos, entre otros.

Son variables las cantidades y propiedades de las aguas residuales provenientes de la fabricación de estos ácidos. La producción de ácido sulfúrico mediante el proceso de contacto genera aproximadamente 40 a 60 m³ de aguas residuales /m³ de ácido; el 95-97% de esta agua no está contaminada. El contenido de ácido sulfúrico puede alcanzar niveles de hasta 200 mg/l y más. En la producción de ácido nítrico y clorhídrico, las

cantidades de aguas residuales son pequeñas y tienen un bajo contenido de ácidos; sin embargo, pueden contener residuos de aceites minerales, lodos arsénicos y otros contaminantes.

2.4.1.4.2 Aguas residuales de la industria de la potasa

En las minas, la potasa se extrae en forma de sales potásicas (sales de escombros). Es un proceso que produce aguas de excavación con un alto contenido de sal.

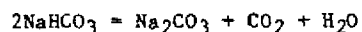
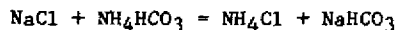
Las sales en bruto que se extraen tienen que ser separadas hasta un cierto grado de las otras sustancias. Esto se hace mediante disolución y cristalización, lo que genera solventes residuales, así como licores finales y aguas de lavado; todos los cuales son inutilizables y por lo tanto se descargan como aguas residuales. Los licores finales son el efluente más importante de las plantas de potasa. El Cuadro 2.4.-19 muestra la composición de los licores finales en la obtención de potasa (MEINCK /107/).

CUADRO 2.4.-19
COMPOSICION DE LOS LICORES FINALES EN LA OBTENCION DE POTASA /107/

		según SEIFERT	según VOGEL	según Consejo Fed. de Salud	según PRECHT
Densidad		1,295	1,28-1,34	1,30-1,31	1,3
MgCl ₂	g/l	275	390	350	390,0
MgSO ₄	g/l	60	35	32	37,5
KCl	g/l	45	10	15	19,5
NaCl	g/l	35	9	10	14,3
MgBr ₂	g/l	-	1	-	-
Dureza total	°dH	19 019	24 627	22 101	24 714

2.4.1.4.3 Aguas residuales de las fábricas de soda

Actualmente en Alemania y otros países industrializados, la soda se fabrica casi exclusivamente mediante el proceso húmedo, o de soda amoniacal (SOLVAY, 1866). En el proceso de soda amoniacal, que puede expresarse con las ecuaciones:



La cantidad equivalente de amoníaco se convierte en una solución saturada de sal gema a baja temperatura.

El principal producto residual de las fábricas de soda amoniacal es el licor final de cloruro de calcio que se descarga después de recuperar el amoníaco mediante la utilización de lechada de cal. La cantidad promedio es de 10 m³, por tonelada de soda calcinada. Este licor final contiene las siguientes sustancias:

CaCl ₂	85 - 95 g/l
NaCl	45 - 50 g/l
CaCO ₃	6 - 15 g/l
CaSO ₄	3 - 5 g/l
Mg(OH) ₂	3 - 10 g/l
CaO	2 - 4 g/l
Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	1 - 3 g/l
SiO ₂	1 - 4 g/l

Tiene una fuerte reacción alcalina (pH superior a 10).

Además del licor final de cloruro de calcio, algunas veces las fábricas de soda amoniacal descargan cantidades pequeñas o medianas de agua de depuración y lavado, proveniente de la purificación (lavado) del dióxido de carbono del horno de cal. Esta agua contiene dióxido de carbono, carbonatos alcalinos, sustancias bituminosas, polvo de la chimenea, etc.

El flujo de aguas residuales por tonelada de soda de calcio fabricada es de 15 m³, de los cuales unos 10 m³ son del licor final de cloruro de calcio. El denominado lodo final alcanza alrededor de 0,25 toneladas por tonelada de soda, y aproximadamente 1,8 toneladas por tonelada de soda cáustica, con un contenido de agua de 40 a 50%.

2.4.1.4.4 Aguas residuales de la producción de fertilizantes

Las sales de potasa, amoníaco y nitrógeno se utilizan como fertilizantes inorgánicos.

Las sales potásicas se obtienen como sales brutas en el proceso de lavado, durante la remoción de sustancias minerales naturales. Las sales brutas más importantes son la carnalita y la sal dura. La composición de estas sales es la siguiente (SEIFERT /154/):

Carnalita bruta

KCl	20 - 25%	= 50 - 55% de carnalita pura
MgCl ₂	30 - 35%	
NaCl	26 - 40% (sales gema)	
MgSO ₄ . H ₂ O	3 - 17% (kieserita)	
CaSO ₄	2 - 2% (anhidrita)	

Sal gema

KCl	15 - 18% (silvinita)
NaCl	60 - 70% (sal gema)
MgSO ₄ . H ₂ O	10 - 25% (kieserita)

En las fábricas de carnalita, la carnalita bruta es tratada con agua y licores disolventes que contienen cloruro de magnesio.

En las fábricas de sal gema, el procesamiento de las sales brutas es básicamente el mismo que en las fábricas de carnalita.

La cantidad de licor final, que es el agua residual más importante en las fábricas de potasa, depende de la sal bruta. MEINCK /107/ señala la cantidad de licor final por tonelada de carnalita bruta procesada como:

con 10% KCl, corresp.	12,8% MgCl ₂ ,	32,7 m ³ de licor final
con 16% KCl, corresp.	20,4% MgCl ₂ ,	52,3 m ³ de licor final
con 20% KCl, corresp.	25,5% MgCl ₂ ,	65,4 m ³ de licor final
con 26,9% KCl, corresp.	34,3% MgCl ₂ ,	87,9 m ³ de licor final

Cuando el agua no tratada que contiene estas sustancias se utiliza para procesar agua potable, el sabor y la calidad bajo el punto de vista de salubridad del agua potable resultan deteriorados. Se han establecido los siguientes límites para no afectar el sabor:

para el cloruro de magnesio	160 mg/l
para el sulfato de magnesio	250 mg/l
para el cloruro de calcio	500 mg/l
para el sulfato de calcio	500 mg/l
para el cloruro de sodio	400 mg/l
para el sulfato de sodio	400 mg/l

La pesca y la ganadería también se ven afectadas por los altos niveles de sal; por ejemplo, las reses que son apacentadas, se niegan a beber agua salada.

Cuando se utiliza agua que contiene sal para propósitos de irrigación, debe distinguirse entre el efecto de la sal en el suelo y el efecto en las plantas. Con respecto al efecto en el suelo, la sal común y el cloruro de magnesio se pueden considerar como aproximadamente equivalentes. El efecto se debe a que, mediante procesos de intercambio, se le quita al suelo potasio y cal y además se disuelve el gel húmico mediante el intercambio de bases. De esta manera, el suelo pierde su estructura desmoronadiza y su capacidad de retener agua y nutrientes. Los suelos arenosos se ven particularmente afectados a este respecto.

No existe peligro de efectos negativos en el crecimiento de las plantas cuando el contenido de cloruro de sodio del agua de irrigación permanece por debajo de 0,5 g/l. Sin embargo, debe señalarse que la concentración de sal aumenta con la evaporación.

Entre los posibles fertilizantes de nitrógeno están las sales de amoníaco, los nitratos, los cianuros y los compuestos de urea. Generalmente, la sustancia básica es el nitrato de amonio. El amoníaco se obtiene mediante síntesis catalítica a elevada presión y alta temperatura, a partir de una mezcla de 1 parte de nitrógeno y 3 partes de hidrógeno. Se emplean diferentes procesos, según sea la materia prima de que se dispone.

Anteriormente se utilizaba el hidrógeno de los gases de elaboración de coque para la síntesis de amoníaco. En la actualidad, el hidrógeno y el nitrógeno usados a tal fin, se preparan exclusivamente mediante un proceso en donde alternativamente se pasa vapor y aire sobre coque incandescente. Esto produce una mezcla de gas pobre y vapor con los componentes H_2 , N_2 y CO_2 . Posteriormente, el CO_2 se elimina mediante lavado. De este proceso de producción de gases se generan aguas de lavado (con 7,5 cm³ de materia suspendida por litro), y aguas residuales de color negruzco debido a que contienen partículas de cenizas y carbón. Las aguas de proceso que se producen en mayor cantidad son las aguas de refrigeración. El agua contaminada está conformada sólo por las aguas de lavado provenientes de plantas y talleres, las soluciones alcalinas del lavado final del dióxido de carbono y las aguas condensadas de las plantas de evaporación en la fabricación de nitrato de amonio.

Las aguas de lavado de gases suelen ser ricas en sulfuros. A diferencia de las aguas de lavado del gas pobre y del vapor, la descarga del lavado del dióxido de carbono en el proceso de obtención de gas de la fabricación de coque, no contiene materias sólidas y está prácticamente libre de sustancias extrañas disueltas; con la excepción del contenido de dióxido de carbono. Esta descarga muestra apenas una débil reacción ácida, como consecuencia del dióxido de carbono absorbido, el cual puede ser eliminado en gran parte mediante torres o cascadas de desaeración. En la fabricación de 1 tonelada de nitrato de amonio se producen unos 5-15 m³ de agua de condensación con 200-250 mg NH_4NO_3 /l y 10 a 20 mg NH_3 /l.

Los fertilizantes que contienen fosfatos se usan mayormente en la agricultura en la forma de superfosfatos de cal. Estos se obtienen a través de la descomposición de los fosfatos en bruto (apatita y fosforita) mediante tratamiento con ácido sulfúrico.

Parte del fluoruro que contienen los minerales escapa como fluoruro de hidrógeno y fluoruro de silicio. Estos gases ácidos son altamente tóxicos. Deben ser precipitados mediante agua o soluciones de sal común, en plantas de condensación cerradas con sistemas de irrigación o pulverización incorporados. Como consecuencia de las reacciones de los compuestos de flúor con el agua y la sal, ocurre la precipitación del fluosilicato sódico (Na_2SiF_6) y el óxido de silicio (SiO_2) insolubles, de la solución de sal concentrada, en la cual son absorbidos los gases residuales de las fábricas de superfosfatos. Estos ácidos insolubles pasan a ser filtrados, lavados con agua y deshidratados. Si después de esto, las aguas residuales siguen siendo ácidas debido a un pequeño contenido de ácido sulfúrico, se les puede neutralizar fácilmente y volverlas por completo inofensivas mediante la adición de cal. En la fabricación de superfosfatos se generan aproximadamente $0,2 \text{ m}^3$ de aguas residuales/t de producto.

2.4.1.4.5 Aguas residuales de la producción de pentasulfuro de antimonio

En la fabricación de pentasulfuro de antimonio (sulfuro de antimonio de diferente composición, principalmente Sb_2S_5), técnico (con contenido de arsénico), que se usa en los fuegos artificiales, aplicaciones médicas y especialmente para la vulcanización y el enrojecimiento del caucho, así como en la preparación del componente de ignición de los fósforos; se producen unos $180\text{--}200 \text{ m}^3$ de aguas residuales por tonelada de pentasulfuro de antimonio. Estas aguas contienen $4\text{--}5 \text{ g/l}$ de sal común y $1\text{--}1,5 \text{ g/l}$ de cloruro de calcio, así como pequeñas cantidades de compuestos de arsénico. Con excepción de los compuestos de arsénico, su composición y propiedades son similares a las de los licores finales de las fábricas de soda amoniacal.

2.4.2 Aguas residuales industriales orgánicas

Las aguas residuales orgánicas que provienen de la industria y están contaminadas, provienen principalmente de industrias químicas y de plantas químicas de gran escala que utilizan, sobre todo, ácidos orgánicos para las reacciones químico-técnicas.

Los efluentes contienen sustancias orgánicas de diferente procedencia y propiedades. Estas sólo pueden ser removidas mediante un tratamiento previo especial de las aguas residuales, seguido de un tratamiento biológico. En esta categoría se encuentran los efluentes de las siguientes industrias y plantas:

- Fábricas de elaboración de productos farmacéuticos, cosméticos, tintes orgánicos, goma y adhesivos, jabones, detergentes sintéticos y biocidas (plaguicidas y herbicidas)
- Plantas de destilación de madera (mencionadas en la sección 2.4.1.3.6) y plantas de incineración de desechos
- Curtiembres y fábricas de cuero

- Fábricas textiles
- Plantas de fabricación de celulosa y papel
- Plantas de la industria de refinación de petróleo
- Plantas de lavado de contenedores y vehículos cisternas
- La industria de procesamiento de metales
- Hospitales

2.4.2.1 Aguas residuales de la industria de productos farmacéuticos cosméticos

2.4.2.1.1 Aguas residuales de la industria farmacéutica

La calidad de los residuos provenientes de la producción de fármacos muestra una gran variación, debido a la diversidad de la materia prima básica utilizada, los procesos de fabricación y los productos residuales. Es característica de la industria farmacéutica que muchos productos finales e intermedios sean fabricados en una misma planta. De esta manera, son diferentes los tipos de efluentes que fluyen desde las diversas áreas de producción.

También es usual que las industrias químicas de gran escala fabriquen productos farmacéuticos junto con otros productos químicos.

Los medicamentos generalmente se clasifican según sus efectos terapéuticos.

Las materias residuales incluyen residuos de extracción de origen natural y sintético, soluciones nutrientes utilizadas, sustancias venenosas específicas y muchos otros productos.

Por ejemplo, en la fabricación de antibióticos existen los siguientes productos residuales (FOPEL /129/):

- soluciones nutrientes (líquidos de fermentación, agua derramada); con una DBO_5 de 4 000 a 8 000 mg/l contaminadas entre otros por ácidos orgánicos, proteínas y residuos de los agentes de extracción, carbohidratos y sales nutrientes, pH 2-3;
- lodos de micelión; impregnados con diatomita (kieselgur) como residuo de filtrado con más de 100 g/l de DBO_5 (cantidad de lodo de micelio, aproximadamente 120 kg/m³ de solución nutriente). El lodo contiene remanentes de agentes de extracción, como acetona, amil acetato, dicloroetileno, y es posible que éstos estén también presentes en las aguas residuales en grandes cantidades. Estos lodos también forman una masa susceptible a la descomposición;

- aguas de purificación, con una DBO₅ de 600 a 2 500 mg/l y un elevado porcentaje de materia sólida (8 000 mg/l). La cantidad de estas aguas llega aproximadamente a 1,7 m³/m³ de solución nutriente procesada;
- aguas de lavado, contaminadas por productos químicos (ácidos, bases) y solventes (acetona);
- descargas de condensadores de inyección. Las mismas contienen sustancias volátiles que representan hasta un 25% de la DBO del líquido a evaporarse; su DBO₅ es 60-120 mg/l.

La cantidad total de agua llega a niveles por encima de los 2 000 m³ diarios.

2.4.2.1.2 Aguas residuales de la industria de cosméticos

Las materias primas que se usan en la industria de cosméticos son aceites vegetales, grasas, frutas y otros extractos; también lo son las grasas animales, componentes y extractos de compuestos químicos como alcoholes, bactericidas, medicinas, detergentes, entre otros. Existen industrias de cosméticos a gran escala; pero también empresas muy pequeñas. La calidad de las aguas residuales de estas industrias está determinada por la gama de productos procesados. Por lo tanto, es importante precisar si los residuos provienen de una pequeña empresa con una variedad limitada de productos o si provienen de una división de producción dentro de una planta química de gran escala.

Las aguas residuales de las pequeñas empresas comerciales normalmente se descargan, después de un tratamiento adecuado, en el sistema público de alcantarillado. Por otro lado, las grandes industrias de cosméticos tienen sus propias plantas de tratamiento.

2.4.2.2 Aguas residuales de la fabricación de tintes

Son muchos los procesos que existen en la fabricación de tintes. Además, la producción rara vez se limita a fabricar un solo tinte. Normalmente, en una fábrica se elabora una variedad de productos, en algunos casos hasta 1200 compuestos, con una gran diversidad de composiciones químicas. Por esta razón, es imposible describir la composición y el tratamiento de las diferentes aguas residuales. La cantidad y composición de estas aguas residuales deberá medirse, caso por caso, en las plantas de producción existentes.

2.4.2.2.1 Aguas residuales de tintes inorgánicos

Los tintes inorgánicos que contienen principalmente contaminantes disueltos y no disueltos, no generan efluentes susceptibles a la descomposición. Los principales tintes inorgánicos y las aguas residuales que producen son (MEINCK/107/ y otros):

Azul de Prusia (ferrocianuro férrico), fabricado mediante la precipitación del ferrocianuro potásico (prusiato amarillo de la potasa) con sulfato férrico y

aeración. El tratamiento se realiza con ácido sulfúrico diluido, presión y lavado. Las aguas residuales están compuestas por el líquido de reacción ácida y las aguas de lavado. Además del ácido sulfúrico libre (pH 1.5) y los sulfatos, estas aguas residuales contienen cloruros, compuestos de hierro y compuestos cianógenos, con una gran cantidad de sólidos suspendidos.

Cerusa o plomo blanco (carbonato de plomo básico), se obtiene mediante el tratamiento de plomo metálico con ácido acético y ácido carbónico. Las aguas residuales así producidas (aguas de lavado), generalmente contienen acetato de plomo, carbonato de plomo y residuos de ácido acético.

Amarillo cadmio (α -sulfuro de cadmio), se obtiene mediante la reacción de lejías de cloruro de cadmio con sulfuro de bario o sulfuro de sodio. Las aguas residuales que resultan suelen contener cantidades considerables de sulfuro de bario o sodio como producto de la reacción, sulfuro excedente y pigmentos.

Rojo cadmio (β -sulfuro de cadmio), se obtiene mediante el efecto de una solución de sulfuro de sodio sobre carbonato de cadmio precipitado. Las aguas residuales contienen, además de los residuos de pigmentos, considerables cantidades de sulfuro de hidrógeno y hasta 30 g/l de sal común. Su reacción es principalmente alcalina.

Amarillo cromo (cromato de plomo), se obtiene mediante la precipitación de sales de plomo solubles utilizando dicromato de potasio. Las aguas residuales contienen acetato de potasio y cromato de potasio residual no convertido (residuo seco de la solución reactiva: aproximadamente 9 g/l; contenido de ácido acético: 4,2 g/l; DBO_5 : 3,0 g/l).

Verde viridiano (óxido crómico), se obtiene calentando al rojo vivo dicromato de potasio con ácido bórico cristalizado y cociendo con agua; esto produce aguas residuales que contienen borato. Este tinte también se fabrica deflagrando cromatos alcalinos con sulfuro en hornos de crisol rotatorios. Las aguas residuales, que contienen sulfatos alcalinos y pequeñas cantidades de dicromato, provienen del lavado de los residuos en lejía y en agua.

Caput mortuum (óxido de hierro (III)), se obtiene de las aguas residuales que contienen sales de hierro y provienen de las minas de pirita de hierro, de las plantas de decapaje y de la fabricación de anilina. Según sea el material básico y los procesos usados, se generarán aguas residuales con sulfato de calcio y cloruro de calcio o con sulfato de sodio o cloruro de sodio.

Litopón (mezcla de sulfuro de zinc y sulfato de bario), genera aguas de enfriamiento y lavado provenientes de la reacción del sulfato de zinc con la solución de sulfuro de bario. Estos residuos pueden contener iones de sulfuro de hidrógeno, sulfato de zinc y sulfato de bario y siempre están contaminados con residuos de pigmentos.

Negro de humo, se obtiene mediante la calcinación incompleta de petróleo o naftalina o residuos orgánicos, así como a través de la purificación de acetileno bajo presiones elevadas y a muy alta temperatura. Se producen aguas de refrigeración, de lavado y de purificación.

Verde de París (aceto-arsenito de cobre (II)), se obtiene mediante la reacción del sulfato de cobre con arsenito de sodio y ácido acético y genera aguas residuales con contenido de ácido acético, sulfato de sodio y arsenito de sodio.

Blanco de titanio (dióxido de titanio), se obtiene de escorias de titanio o de ilmenita (ferrotitanio, FeO TiO_2) mediante la desintegración utilizando ácido sulfúrico al 86%, para luego lixiviar el material desintegrado. Durante este proceso, el blanco titanio queda separado y luego se filtra. Esto produce un ácido débil con aproximadamente 18% de H_2SO_4 y 12% de FeSO_4 . Más adelante, el pigmento pasa a ser lavado, lo que produce grandes cantidades de aguas de lavado que contienen ácido y hierro.

Bermellón o Cinabrio artificial (sulfuro de mercurio), se obtiene mediante la reacción del mercurio metálico con una solución concentrada de polisulfuro de potasio. Las aguas de lavado contienen residuos de sulfuro de potasio; la lejía reactiva se regenera y se reutiliza.

2.4.2.2.2 Aguas residuales de tintes orgánicos

En la mayoría de casos, los materiales básicos para la fabricación de tintes orgánicos son hidrocarburos cíclicos, como el benceno, el tolueno, sus derivados, el antraceno, o productos intermedios obtenidos de los mismos, como anilina, tolidina, antraquinona, etc.

Las etapas del proceso pueden constar de: sulfonación (con ácido sulfúrico), nitración (con ácido sulfúrico y nítrico), reducción de los nitrocompuestos a aminocompuestos (con limaduras de hierro y ácido, sulfuro de zinc, sulfuro de amonio, sulfuro de sodio, ácido sulfuroso, etc.), diazotización (con nitritos y ácidos libres), condensación (con cloruro de aluminio entre otros elementos), oxidación (con cloro, dióxido de manganeso, ácido nítrico, etc.), fusión (con álcalis cáustico), enriquecimiento de sales (con sal común), precipitación con solventes orgánicos, alcalinización (con álcalis cáustico) y otras.

Por lo tanto, las aguas residuales de estos procesos contienen una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos, en forma disuelta y, algunas veces, en forma no disuelta. Sobre todo, suele haber presencia de los siguientes:

- residuos de productos primarios e intermedios orgánicos (benceno, anilina, compuestos nitrocíclicos, etc.)
- residuos de productos terminados (tintes)
- metanol y otros solventes orgánicos
- ácido sulfúrico y sus sales
- glicerina
- ácido nítrico y sus sales
- nitritos
- sal común
- cal
- sales de hierro
- cloruro de aluminio

- ácido acético y sus sales, y
- productos de reacciones secundarias de estas sustancias

La reacción puede ser ácida, alcalina o neutra. Debido a que el contenido de tintes consiste sólo de residuos finales que son técnicamente imposibles de identificar, el color es una característica de estos residuos. Para el desconocedor, estas aguas residuales parecerán estar altamente contaminadas, aun cuando el contenido de tinte sea muy pequeño y bastante inocuo.

2.4.2.3 Aguas residuales de la producción de jabón y detergentes sintéticos

En la fabricación de jabón entran en ebullición grasas vegetales o animales, aceites vegetales o animales, o ácidos grasos artificiales o naturales en soluciones alcalinas.

Las grasas que se usan como materia prima son principalmente aquéllas que no resultan adecuadas para el consumo humano, como es el caso de las grasas residuales, grasas de aguas residuales, grasas de huesos, grasas de caballos, sebo de carne de carnero, grasas de plantas de despiece, etc. En la fabricación de jabones cuajados y de jabones de tocador más finos, se utilizan aceites vegetales, como el de oliva, el de maíz, el de soya, el de ajonjolí, entre otros.

En una fábrica de jabón, las etapas del proceso son, en esencia, las siguientes:

- purificación de las grasas primarias,
- desdoblamiento de las grasas (o fabricación de ácidos grasos),
- saponificación.

Se producen las siguientes aguas residuales:

- diferentes aguas residuales de la purificación de las grasas primarias,
- aguas residuales que contienen glicerol proveniente del desdoblamiento de las grasas y del refinamiento del glicerol,
- aguas negras provenientes del proceso de saponificación,
- aguas de lavado,
- aguas de condensación, enjuague y refrigeración.

2.4.2.3.1 Aguas residuales de la producción de jabón con ácidos grasos

Para fabricar jabón (sales alcalinas de ácidos grasos), las grasas son tratadas con sustancias absorbentes, como carbón vegetal, carbón animal y carbón activado; diatomita, arcilla grasa, esmecita o sílice gelatinosa, a temperaturas de 70 a 90°C.

Para el blanqueado se utiliza peróxidos de sodio, bicarbonatos, hipocloritos, carbonato sódico, permanganato de potasio, ácido sulfúrico y otros agentes reductores.

La división de las grasas se hace para separar los ácidos grasos necesarios para la fabricación del jabón de sus enlaces con el glicerol. La calidad de las aguas residuales depende de los procesos utilizados para la división de las grasas.

En todos los procesos de desdoblamiento de grasas investigados, se obtiene como subproducto agua de glicerol con un contenido del mismo de 10-14%. Esta agua se procesa en la fábrica para obtener una concentración de 80% de glicerol puro.

La saponificación, que mayormente se hace en la forma de saponificación de carbonatos, da como resultado una "goma de jabón", de la cual se separa la "cuajada de jabón" agregando sal común; dicha "cuajada" se recolecta como un producto semilíquido encima de las aguas negruzcas (nigre o capa acuosa inferior). Las aguas residuales tienen generalmente una temperatura de 90-100°C y, a medida que se van enfriando, se separan también las capas de componentes gomosos y de jabón.

La cantidad de efluentes puede variar considerablemente según sea el tipo de fábrica y el proceso que se use, por lo que no es posible ofrecer información que sea válida en general.

Las siguientes cifras de una fábrica de jabón de gran escala pueden servir como una guía aproximada. La cantidad total de agua en 8 horas fue de aproximadamente 1500 m³ (MEINCK /107/).

La misma se puede disgregar en:

Agua de refrigeración y condensación	1360 m ³
Descargas de la refinación de grasas primarias	58 m ³
Agua de lavado de la planta de desdoblamiento de grasas	20 m ³
Agua negruzca de saponificación y agua de lavado	20 m ³
Agua de purificación	25 m ³

El resto pertenece a otras aguas residuales, como el agua de enjuague de las plantas de purificación, que no provienen únicamente de las fábricas de jabón.

Los efluentes de estas últimas tienen varias calidades características que deben tomarse en cuenta al tratar el agua. Su olor es desagradable. Todavía contienen varias grasas y sustancias sebosas semejantes al jabón, las que resultan perjudiciales cuando el agua pasa a ser descargada en el sistema público de alcantarillado, pues forman depósitos de grasa en los lados de las alcantarillas.

Las descargas de la refinación de las grasas primarias y de los condensadores de inyección en la planta de evaporación de glicerol presentan un fuerte olor. El mismo puede llegar a eliminarse casi totalmente mediante cloración al tratar las aguas de condensación y eliminarse, en gran medida, en el caso de las aguas de lavado. La refinación de grasas primarias por medio del tratamiento con agentes absorbentes, tales como la arcilla grasa, carbón activado, sílice gelatinoso, etc., no produce en realidad aguas residuales, pero sí se producen aguas residuales en la purificación de los agentes absorbentes. Esta se lleva a cabo con soluciones alcalinas. Estas aguas

residuales muestran una clara reacción alcalina; contienen mucha materia suspendida y pequeñas cantidades de grasas o aceite.

Durante la purificación de las grasas primarias, a través del lavado, se producen aguas residuales algo ácidas que contienen una cantidad de sustancias orgánicas oxidables, muchas veces mayor que las aguas residuales municipales normales. En el Cuadro 2.4.-20 se resume información relacionada con el análisis de aguas residuales de este tipo.

Si el proceso de refinamiento de las grasas primarias incluye blanqueo, las aguas residuales contendrán residuos del agente blanqueador o sus productos de conversión. Los agentes blanqueadores que se utilizan en la industria del jabón son: peroxisulfato, hipoclorito, peróxido de sodio y otros agentes oxidantes.

CUADRO 2.4.-20
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE FABRICAS DE JABON /107/

Nombre de la muestra	pH	Evaporación de Residuos		Cloruros	Consumo de KMnO_4	Acido sulfúrico		Zinc
		Total	Pérdida por ignición			Libre	Enlazado	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Descarga del proceso de refinación	4,3	3 764	1 854	120	1 966	-	853	-
Agua de lavado del desdoblamiento de grasas (SIERP)	menos de 1,0	199 800	158 400	-	124 800	6 300	49 200	28 400
Aguas negras	8,5	317 840	94 220	124 000	18 720	-	-	-
Aguas negras de la saponificación (SIERP)	-	190 000	58 000	80 000	28 990	-	-	-

2.4.2.3.2 Aguas residuales de la producción de detergentes sintéticos

El uso difundido de las grasas y las mejoras en las técnicas de elaboración en las fábricas de aceite han dado como resultado la escasez de ácidos grasos inferiores y un incremento de su precio. Esto hizo que se intentara sintetizar moléculas similares a las del jabón que no necesitaran grasas naturales para su fabricación. Tales sustancias son los detergentes.

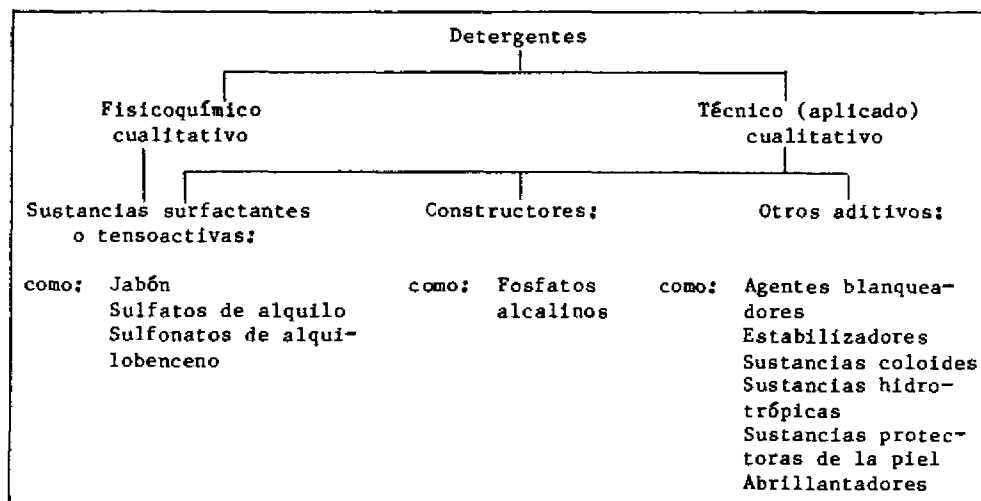
Los detergentes tensoactivos (surfactantes) pertenecen a varios grupos y pueden dividirse en tres tipos diferentes, de acuerdo con su carga eléctrica (ionización):

- detergentes aniónicos, como los sulfatos de alquilo y sulfonatos alquiloarílico, cuyo uso es más común en el ámbito doméstico. Sólo deberían usarse sulfonatos arilalcalino "suaves" dado que tienen una cadena lateral recta y se pueden biodegradar fácilmente.
- detergentes no ionizados, los que se basan, por ejemplo, en polioxietilenos y se utilizan combinados con ácidos grasos y fenoles de alquilo. Estos detergentes se utilizan principalmente en la industria.
- detergentes catiónicos, como los derivados de la piridina y bases amoniacales cuaternarias, los que debido a sus propiedades germicidas se utilizan principalmente con propósitos sanitarios, como en el lavado de los pañales de bebés, o como agentes suavizadores en lavanderías, restaurantes, hospitales, etc.

Los detergentes para trabajo pesado tienen otros ingredientes adicionales, como agentes blanqueadores, estabilizadores, coloides absorbentes, sustancias hidrotópicas, agentes protectores de la piel, abrillantadores, etc. Contienen además álcalis y fosfatos. Se les conoce como "constructores" y si bien ellas mismas no poseen propiedades tensoactivas, incrementan en cambio la efectividad de las sustancias que sí las tienen. En otras épocas, tales constructores eran de: orina rancia, cenizas, potasa y, posteriormente, de soda. Recientemente, sin embargo, han cobrado mayor importancia ciertos fosfatos para la estabilización de la dureza (compuestos de calcio y magnesio) del agua (fosfato tetrasódico, pirofosfato, polifosfato trisódico).

El Cuadro 2.4.-21 muestra la composición de los detergentes (KLING, LIEBMANN /95/).

CUADRO 2.4.-21
COMPOSICION DE DETERGENTES /95/



En el proceso de fabricación se generan diferentes aguas residuales con características como las siguientes (MEINCK /107/):

- marcada tendencia a formar espuma (debido a la reducción de la tensión superficial),
- contenido de sustancias emulsionadas, como grasas y aceites,
- repentinos cambios en la composición y en la reacción debido a descargas en bloque de los residuos de cada fase del proceso productivo.

Los Cuadros 2.4.-22 y 2.4.-23 muestran la composición de las aguas residuales provenientes de la fabricación y purificación de detergentes, respectivamente.

CUADRO 2.4.-22
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA FABRICACION DE DETERGENTES /95/

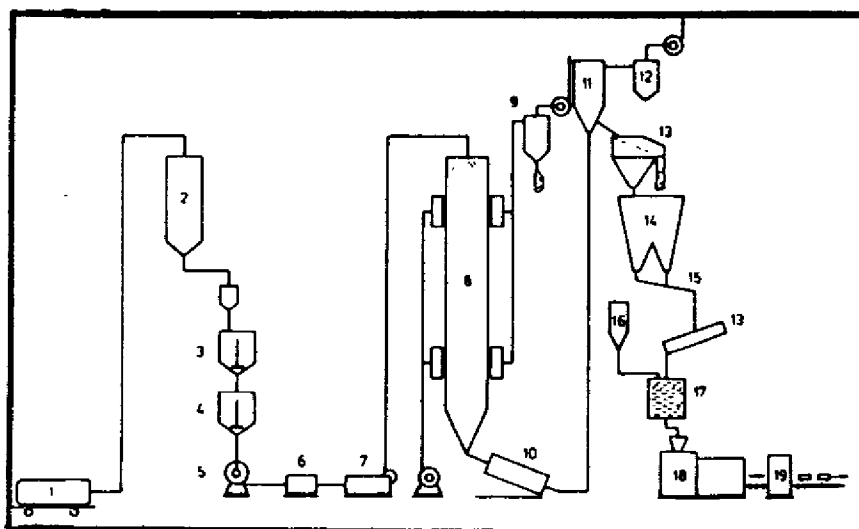
Valor	pH	DQO mg/l	Sustancias activas mg/l	Total de		
				Aceites mg/l	Residuos mg/l	En ignición mg/l
Min.	0	14 000	117	660	10 300	2 200
Max.	11	90 800	10 000	78 700	56 900	20 500
Prom.	-	50 000	3 200	22 400	33 000	8 300

CUADRO 2.4.-23
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA
PURIFICACION DE DETERGENTES /95/

Valor	pH	DQO mg/l	DBO ₅ mg/l	Sustancias activas mg/l	Total de			SO ₄ mg/l
					Aceites mg/l	Residuos mg/l	En ignición mg/l	
Min.	5	200	33	10	30	500	250	38
Max.	8,7	24 000	160	730	36 100	20 100	1 600	575
Prom.	-	5 200	72	130	6 300	3 000	680	260

La Figura 2.4.-1 muestra un diagrama de la fabricación de detergentes (HEINZ /100/).

El Cuadro 2.4.-24 muestra el comportamiento fisiológico de algunos tipos de detergentes (MEINCK /107/).



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Vehículo tanque | 10. Cilindro reforzador |
| 2. Almacenamiento previo | 11. Elevador de agua por aire |
| 3. Tanque de mezcla | 12. Separador |
| 4. Tanque de alimentación | 13. Tamizador |
| 5. Bomba centrífuga | 14. Carbonera |
| 6. Pulverizador | 15. Perfumado |
| 7. Bomba a presión | 16. Perborato |
| 8. Torre | 17. Cascada de mezcla |
| 9. Separador | 18. Máquina de llenado |
| | 19. Máquina empaquetadora |

Figura 2.4.-1: Diagrama de la fabricación de detergentes utilizando el "proceso de torre WELTER"

CUADRO 2.4.-24
COMPORTAMIENTO FISIOLOGICO DE ALGUNOS TIPOS DE DETERGENTES /107/

Estructura química	Tipo fisicoquímico	Comportamiento fisiológico
Sulfatos de alquilo	anión activo	fácilmente biodegradable
Sulfonatos alquilo- arílicos (con cade- na lateral recta)	anión activo	difícilmente biodegradable
Sulfonatos alquilo- arílicos (cadena la- teral ramificada con carbono cuaternario)	anión activo	muy difícilmente biodegra- dable
Amonio terciario o sales de piridina	cation activo	tóxico, bactericida
Eter poliglicol	no ionizable	difícilmente biodegradable

2.4.2.4 Aguas residuales de las industrias de plásticos

Los plásticos pueden fabricarse mediante la acción de productos químicos sobre sustancias de peso molecular elevado, o pueden producirse sintéticamente a partir de materias primas con bajo peso molecular, mediante procesos de condensación y polimerización, entre otros. Se descargan aguas residuales tanto de las fábricas que producen materias primas y productos semiacabados como de aquellas que elaboran productos terminados.

Los procesos sucesivos pueden variar en alguna medida, pueden usar o no agua y dan como residuos sustancias líquidas y sólidas con componentes orgánicos e inorgánicos.

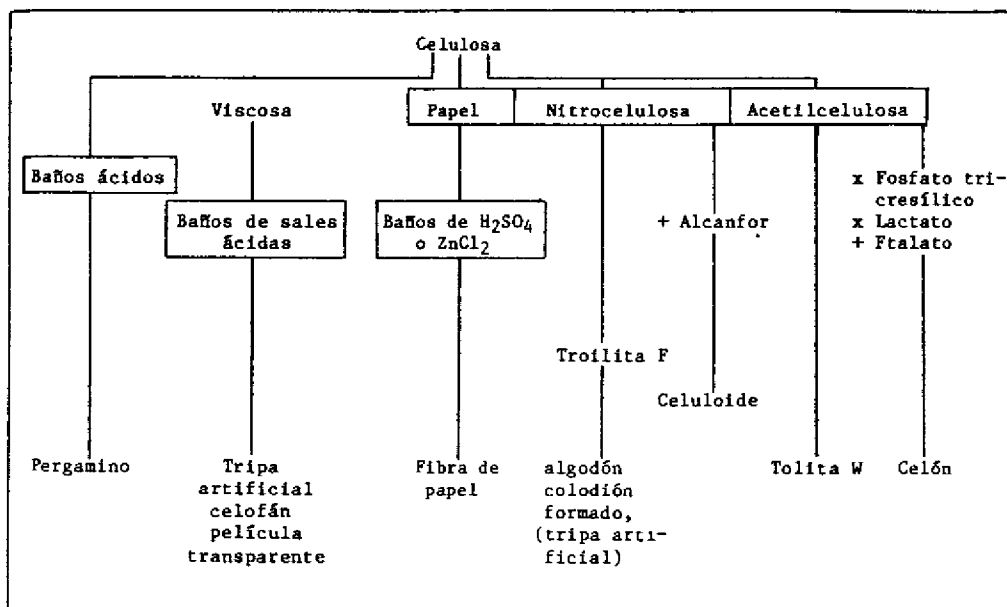
De la gran variedad de tipos de plásticos, aquí se verán los siguientes grupos:

- plásticos fabricados en base a celulosa
- plásticos como producto de condensación
- plásticos como producto de polimerización

2.4.2.4.1 Aguas residuales de la industria de plástico en base a celulosa

El Cuadro 2.4.-25 muestra una composición de estos productos (MEINCK /107/).

CUADRO 2.4.-25
COMPOSICION DE LOS PLASTICOS EN BASE A CELULOSA /107/



Los plásticos en base a celulosa, pergamino y algodón colodión formado se fabrican mediante la acción de ácidos concentrados sobre la celulosa. Las aguas de lavado residuales que se generan en este proceso son ácidas; los ácidos residuales pueden o ser evaporados o ser reutilizados luego de habérseles agregado ácido fresco.

En la producción de tripa artificial existen licores alcalinos, diluidos y residuales, que pueden contener compuestos sulfúricos inconvenientes. Sin embargo, los mismos pueden ser convertidos utilizando gases de escape o aguas ácidas con contenido de dióxido de carbono provenientes de los procesos de fabricación. Otras aguas residuales a considerar son los baños de precipitación ácidos ya utilizados y las aguas de enjuague y lavado algo ácidas que contienen hipoclorito o sulfato de sodio.

Estas tienen una composición similar a la de las aguas residuales de fábricas de viscosa. Igual ocurre con las aguas residuales provenientes de la fabricación de películas transparentes de viscosa. Los procesos de fabricación de fibra de papel producen aguas de lixiviación o enjuague.

2.4.2.4.2 Aguas residuales de la producción de plástico como producto condensado

Entre los productos de condensación (combinación de diferentes grupos moleculares acompañados de eliminación de agua o moléculas simples), los más importantes son los fenoplásticos y los aminoplásticos.

Los fenoplásticos (resinas fenólicas como la bakelita) se obtienen mediante la condensación catalítica de formaldehído y fenoles. La síntesis de fenol (Figura 2.4.-2) genera aguas de condensación, refrigeración y enjuague, cuya reacción es neutra o ligeramente alcalina. Los procesos de condensación producen, además de cantidades bastante grandes de agua de refrigeración (más de 100 m³/t de producto), pequeñas cantidades de aguas de purificación alcalinas y las denominadas aguas de reacción (aproximadamente 60-80 l/t de producto). Estas aguas son en parte alcalinas (agua roja) y en parte ácidas (agua ácida). El Cuadro 2.4.-26 muestra su composición.

Los aminoplásticos (resinas aminoplásticas como el Pollopas) se obtienen mediante la condensación de formaldehído con úrea o tioúrea, en un proceso catalítico en donde se mantienen ciertas condiciones. La fabricación de aminoplásticos y resinas de melamina genera aguas residuales que contienen formaldehído, metanol y resina suspendida.

CUADRO 2.4.-26
COMPOSICION DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES
DE LA CONDENSACION DE RESINAS ARTIFICIALES /107/

	Agua roja	Agua ácida
Consumo de bromo, relacionado al fenol (organismos o formas fenólicas)	6 100 mg/l	24 000 mg/l
Fenoles volátiles	1 700 mg/l	15 000 mg/l
Formaldehído libre	1 200 mg/l	8 100 mg/l
Consumo de KMnO ₄	60 000 mg/l	210 000 mg/l
Valor de pH	11,3	1,7

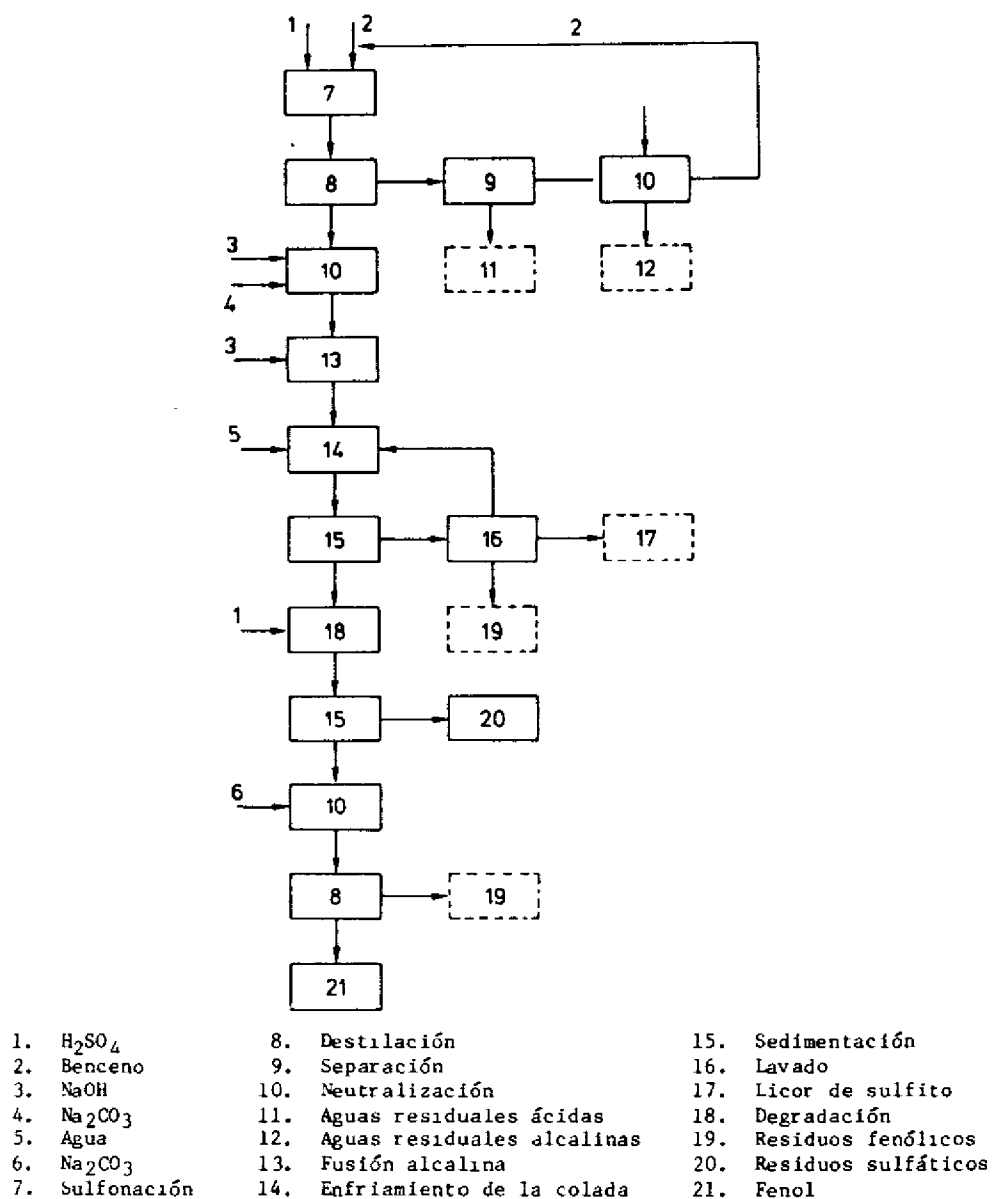


Figura 2.4.-2: Diagrama de la síntesis del fenol

2.4.2.4.3 Aguas residuales de la producción de plásticos como productos de polimerización

Los hidrocarburos inferiores no saturados que se obtienen en las plantas petroquímicas han adquirido mayor importancia como materia prima para los productos de polimerización (que técnicamente son más importantes). El procesamiento de la materia prima para convertirla en producto semiterminado y el procesamiento del producto semiterminado para obtener el polímero final, se realizan por lo general en plantas separadas.

En presencia de catalizadores, el acetileno forma el cloruro vinílico; con ácidos grasos, forma ésteres vinílicos y con cianuro de hidrógeno, forma acrilonitrilo. Estos productos pueden ser polimerizados o procesados para obtener cloruro polivinílico (Igelita, Mipolam, Vinidur, fibra PVC, Vestolit, etc.), ésteres polivinílicos (Vinapas, Vinoflex, etc.) y productos poliacrílicos (Acronal, Plexigum, Dralón, Orlón, etc.).

El etileno es la materia prima del polietileno (Lupolén, Vestolén, etc.), el poliestireno (Vestylon, Trolitul, Styroflex, etc.) y el óxido etilénico y sus derivados, como el poliglico.

El polipropileno y el glicol polipropilénico, cuyo uso es frecuente en la fabricación de resinas poliésteres, se obtiene del propileno.

La oxidación del buteno produce butadieno, que se polimeriza en caucho sintético (buna) cuando se le combina con otros componentes igualmente polimerizables, como el estireno o el acrilonitrilo.

Las fibras de poliacrilonitrilo (Dralón, Orlón, fibra PAN, zefrán) se obtienen disolviendo acrilonitrilo en formamida dimetífica. La solución líquida o pastosa pasa caliente a través de toberas de hilado. Se generan aguas residuales tanto del proceso de polimerización como del tratamiento posterior de las fibras de poliacrilonitrilo. Las aguas residuales de la polimerización son evaporadas antes de su descarga para así recuperar el acrilonitrilo monómero que aún contienen; quedan entonces con un contenido relativamente pequeño de acrilonitrilo, un contenido mayor de otros nitrilos y aldehídos, y de poliacrilonitrilo que no llegó a participar en el proceso. El segundo tipo de aguas residuales se presenta como una suspensión blanca, desmenuzable. La descarga de la columna de destilación tiene una DBO de aproximadamente 3 000 mg/l. Las aguas residuales del tratamiento posterior o del lavado de los gases residuales son importantes por su contenido de formamida dimetífica.

Las fibras de poliamidas (Perlón) se obtienen del caprolactama. La polimerización del caprolactama en Perlón se lleva a cabo bajo presión, con la exclusión de aire y a una elevada temperatura. Los productos residuales de este proceso son: gases de escape, residuos del sumidero de la columna, aguas de percolación, aguas de enjuague de filtros, agua proveniente de fugas y agua de limpieza.

La calidad de estas aguas se señala en el Cuadro 2.4.-27 (KAEDING /107/).