

PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Degrèmont

1. PRINCIPIOS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRECIPITACIÓN

Por precipitación química se entiende la formación, por la acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles de los elementos indeseables contenidos en un agua, aplicando las leyes de Berthollet o las de la oxidación-reducción.

Los procesos que se emplean mas corrientemente en tratamiento de aguas son, en el primer caso, el de la precipitación cristalina de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y, en el segundo caso, la precipitación de hidróxidos metálicos.

1.1. Eliminación de calcio y magnesio

1.1.1. PRINCIPALES MÉTODOS:

A. Descarbonatación con cal.

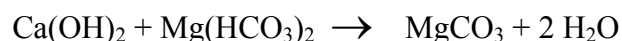
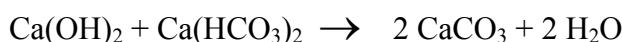
El tratamiento de precipitación más utilizado es el de la descarbonatación con cal. Su misión es la de eliminar la dureza bicarbonatada (denominada también dureza temporal, pág. 896) de un agua.

Se recuerda que, en los análisis relativos a este tipo de agua, la dureza se expresa por el grado hidrotimétrico (en grados franceses TH), suma de los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} , y el contenido de bicarbonatos por el grado alcalimétrico completo (en grados franceses TAC). La dureza no carbonatada (a la que también se le llama dureza permanente, pág. 896) se expresa entonces por

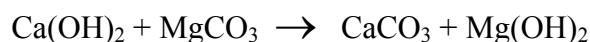
$$\text{TH} - \text{TAC}.$$

El tratamiento de descarbonatación con cal únicamente conduce, por lo tanto, a una eliminación parcial de la suma de los iones de calcio y magnesio, puesto que no ejerce acción alguna sobre la dureza permanente.

* Reacciones básicas. Las reacciones químicas de descarbonatación son las siguientes:



Teniendo en cuenta que el carbonato magnésico es relativamente soluble (del orden de 70 mg/l), un exceso de cal conducirá a la reacción:



Si las dosis de reactivos se ajustan exactamente, se reduce la alcalinidad del agua a la solubilidad teórica del sistema $\text{CaCO}_3 + \text{Mg}(\text{OH})_2$, que está comprendida entre 2° y 3° franceses, en las condiciones habituales de concentración y temperatura. Este valor límite, sin embargo, puede encontrarse incrementado, en la práctica, por la presencia de impurezas orgánicas.

Por otra parte, si el agua bruta contiene bicarbonato sódico ($\text{TAC} > \text{TH}$), se mantendrá en el agua, además del valor indicado, una alcalinidad suplementaria en forma de carbonato sódico o sosa cáustica, correspondiente al valor $\text{TAC} - \text{TH}$.

* Mecanismo de la precipitación: para apreciar mejor el interés que ofrecen los distintos sistemas de descarbonatación con cal, es necesario tener en cuenta el mecanismo de la precipitación del carbonato cálcico y el hidróxido magnésico.

La reacción de la cal sobre un agua bruta es extraordinariamente lenta en ausencia de gérmenes de cristalización. En los decantadores estáticos utilizados antiguamente, se necesitaban varios días para llegar al equilibrio químico. En decantadores de marcha continua sin dispositivos de contacto de fangos, que actualmente casi no se utilizan, el tiempo de reacción es de varias horas.

Por el contrario, cuando el agua y la cal se ponen en contacto con una masa suficiente de cristales de CaCO_3 ya precipitados, la reacción alcanza su punto de equilibrio en unos minutos. Como la precipitación se efectúa sobre los cristales, éstos tienden a aumentar su volumen: la velocidad de sedimentación, que debe cumplir la ley de Stokes, aumenta, y pueden reducirse las dimensiones de los aparatos.

Esto sólo es válido si la superficie de los cristales de CaCO_3 se encuentra suficientemente limpia. La presencia de coloides orgánicos puede impedir la cristalización, y por ello se añaden normalmente al agua bruta que se va a descarbonatar, reactivos coagulantes, como son el cloruro férrico, el sulfato de aluminio o el policloruro de aluminio, con el fin de eliminar estos coloides.

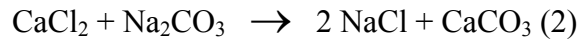
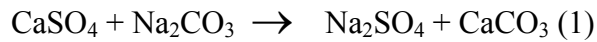
Por último, conviene insistir sobre el hecho de que el CaCO_3 , si se encuentra solo, tiene tendencia a formar agrupaciones de cristales muy duras y muy voluminosas, que sedimentan a gran velocidad, mientras que el hidróxido magnésico, si se encuentra solo, se presenta siempre en forma de flóculos muy ligeros de $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Si la proporción de hidróxido magnésico es pequeña, se ocluye dentro del precipitado cálcico, pero si su proporción es considerable, no pueden obtenerse precipitados densos, y la velocidad de sedimentación admisible es mucho menor.

En la elección de un aparato de descarbonatación, debe tenerse en cuenta, sobre todo, su adecuación para realizar una mezcla homogénea del agua bruta, el reactivo, y los gérmenes de CaCO_3 , en una zona de reacción convenientemente dimensionada, seguida de una zona de decantación, cuya superficie depende de las condiciones de formación del precipitado y especialmente del contenido de materias orgánicas coloidales y de sales de magnesio.

Hay que advertir que, si se desea un agua descarbonatada perfectamente limpia, debe completarse siempre la descarbonatación con una filtración.

B. Empleo de carbonato sódico

Los antiguos procedimientos de eliminación de la dureza permanente por medio de carbonato sódico en caliente, carbonato bórico o fosfato trisódico, se han ido sustituyendo prácticamente por los procedimientos más modernos que se mencionan a continuación. Todavía se procede, a veces, a la eliminación de la dureza permanente mediante carbonato sódico en frío, asociada a la precipitación de los bicarbonatos de calcio y magnesio con cal. Esta eliminación se obtiene según las reacciones:



Este procedimiento presenta algunos inconvenientes, en especial el de no poder reducir la dureza total por debajo de 3° a 4° franceses, en los casos más favorables.

Generalmente es preferible combinar la descarbonatación sólo con cal con un desendurecimiento mediante un intercambiador de cationes en ciclo Na. Esta última técnica exige una filtración sobre arena entre la decantación y el desendurecimiento.

C. Precipitación con sosa cáustica.

La eliminación de los iones de calcio y magnesio por precipitación con sosa cáustica es una variante del proceso de tratamiento conjunto, mediante cal y carbonato sódico, que se describe en el párrafo B. anterior.

La reacción básica es la siguiente:



La precipitación del carbonato cálcico va unida a la formación de carbonato sódico, el cual reaccionará sobre la dureza permanente, según las reacciones (1) y (2) expuestas anteriormente.

Mediante el empleo de sosa cáustica puede reducirse, por lo tanto, la dureza de un agua hasta un valor igual a dos veces la disminución del contenido de bicarbonatos alcalinotérreos. El TAC del agua únicamente podrá reducirse hasta un valor próximo a 3° franceses, en tanto que existan suficientes iones de calcio para combinarse con el carbonato sódico formado.

1.1.2. BASES DE CALCULO Y CONTROL DE LA PRECIPITACIÓN

A. Cálculo de la dosis de cal

Si se denomina:

- TH grado hidrotimétrico total del agua,
- TAC grado alcalimétrico completo del agua bruta (medido en presencia de anaranjado de metilo),

- TCa grado hidrotimétrico cálcico correspondiente al contenido global de sales de calcio,
- TM grado hidrotimétrico magnésico correspondiente al contenido global de sales de magnesio,
- C contenido de ácido carbónico libre del agua, valorado en grados calculados sobre: $(\text{CO}_2 \text{ libre en mg/l}) / 4,4$
- TA grado alcalimétrico, llamado «simple», medido en presencia de fenolftaleína,

la dosis teórica de cal necesaria para conseguir la precipitación óptima del carbonato cálcico es:

$$\text{CaO} : 5,6 \cdot (\text{TAC} + \text{C}) \text{ g/m}^3$$

$$\text{ó Ca(OH)}_2 : 7,4 (\text{TAC} + \text{C}) \text{ g/m}^3$$

Si se desea precipitar a la vez el carbonato cálcico y el hidróxido magnésico, debe realizarse el cálculo sobre:

$$\text{CaO} = 5,6 (2 \text{ TAC} - \text{TCa} + \text{C})$$

$$\text{o Ca(OH)}_2 = 7,4 (2 \text{ TAC} - \text{TCa} + \text{C})$$

Las determinaciones anteriores se describen en las páginas 909 y siguientes.

* Control de los resultados:

a) Aguas cuyo valor $\text{TH} - \text{TAC}$ es positivo. Si se trata únicamente de precipitar el carbonato cálcico, la regulación ideal se obtiene para:

$$\text{TA} = \text{TAC}/2 \pm 0,5^\circ$$

regulación que corresponde a un mínimo de TAC de 2° aproximadamente, si el agua no contiene magnesio.

Si TM es superior a $\text{TH} - \text{TAC}$, la aplicación de esta regla conduce a unos valores de TAC excesivos, debido a la solubilidad del carbonato magnésico. Es preciso aplicar entonces el segundo método de cálculo, partiendo de $(2 \text{ TAC} - \text{TCa} + \text{C})$, obteniéndose el resultado óptimo cuando se tiene:

$$\text{TA} = \text{TAC}/2 + 0,5^\circ \text{ a } 1^\circ$$

con un valor del TA tan reducido como sea posible.

b) Aguas cuyo valor $\text{TH} - \text{TAC}$ es negativo.

Este es el caso correspondiente a las aguas bicarbonatadas sódicas. Puede obtenerse siempre una buena precipitación de calcio y magnesio calculando la cal sobre $\text{TAC} + \text{TM} + \text{C}$, pero, en este caso, se tendrá un agua cargada de carbonato sódico y sosa cáustica, por lo que puede ser interesante el empleo de una dosis menor.

En todos los casos, el aumento (o disminución) de la dosis de cal será de 5,6 g por m^3 (en CaO) o 7,4 g por m^3 (en Ca(OH)_2) por cada grado de TA en exceso o defecto, por encima o por debajo de la regla teórica.

Evidentemente, los valores 5,6 y 7,4 se entienden para productos con una riqueza del 100 %. Como las cales comerciales son siempre impuras y más o menos carbonatadas, las cifras industriales varían entre 8 y 10.

B. Cálculo de la dosis de carbonato sódico

La dosis de carbonato sódico necesaria es, en producto puro:

$$10,6 (\text{TH} - \text{TAC}) \text{ g/m}^3$$

* Control de los resultados: en teoría, para un agua exenta de magnesio, debe obtenerse:

$$TH = TAC = 2 TA$$

En la práctica, si se trata de un agua cuya dureza permanente es en parte magnésica, puede ser que no se cumpla esta regla, debiendo estudiarse el problema en cada caso concreto.

C. cálculo de la dosis de sosa

Por grado de TAC que haya de precipitarse, la dosis de sosa cáustica que se utilizará, en producto puro, será de:

$$8 (2 TAC - TCa + C) \text{ g/m}^3.$$

* Control de los resultados: para una reducción de 1º francés del TAC, debe tenerse una disminución de 2º franceses del TH.

En la práctica, se regula la dosis de sosa cáustica introducida en el agua, de forma que se obtenga un valor mínimo del TAC residual. Puede evitarse así que se produzca en el agua, a costa de un consumo inútil de sosa, un exceso de carbonato sódico o magnésico.

1.2. Eliminación de silicio

La eliminación del silicio corresponde más bien a un proceso de adsorción que de precipitación química propiamente dicho. Sin embargo, puesto que esta eliminación se combina generalmente con la reacción de descarbonatación, se incluye su descripción en este capítulo. Esta eliminación puede realizarse en frío o en caliente.

1.2.1. ELIMINACIÓN DE SILICIO CON ALUMINATO SÓDICO

Puede reducirse sensiblemente el contenido de un agua natural en silicio, transformándolo en un silicoaluminato complejo de calcio y hierro, que se forma a la temperatura del agua.

Esto se consigue añadiendo al agua dosis convenientes de cloruro férrico, de aluminato sódico y de cal.

Los resultados de la eliminación de silicio mejoran, generalmente, si se realiza al mismo tiempo la descarbonatación del agua. El precipitado contiene entonces, simultáneamente, carbonato cálcico y un complejo de sílice, alúmina y hierro. Se obtiene así un contenido residual de silicio tanto mayor cuanto mayor es el contenido de este elemento en el agua, y más elevada su temperatura.

Generalmente, para aguas cuyo contenido en silicio, expresado en sílice, no excede de 20 mg/l y a la temperatura de 20 °C, está comprendido entre 2 y 5 mg/l. Para contenidos más elevados, el porcentaje de reducción es del 70 al 80 %.

1.2.2. ELIMINACIÓN DE SILICIO CON HIDRÓXIDO MAGNÉSICO

El tratamiento puede realizarse en frío o en caliente.

* En frío: se obtienen unos resultados del mismo orden de magnitud que los indicados anteriormente. El procedimiento consiste en introducir en el agua hidróxido magnésico preparado in situ, partiendo de óxido magnésico puesto en solución por inyección de CO₂, y precipitado seguidamente con cal.

* En caliente: el tratamiento es complementario del de descarbonatación. Si se trata de agua a una temperatura próxima a los 100 °C con una mezcla de cal y polvo de magnesia anhidra porosa, puede fijarse la sílice por adsorción descendiendo su contenido residual en el agua tratada hasta 1 mg/l.

Este procedimiento, combinado con un desendurecimiento posterior sobre un intercambiador de cationes, se utiliza con frecuencia en la alimentación de calderas de presión media. Debe preverse siempre una filtración del agua decantada sobre un material no silíceo, mármol o antracita.

1.3. Eliminación de iones de aguas residuales de tratamiento de superficies, por precipitación cristalina

Diferentes sales minerales contenidas en las aguas residuales de tratamiento de superficies metálicas se eliminan por precipitación, siguiendo las leyes de Berthollet. De estas sales, las principales son los fluoruros y los fosfatos.

En el primer caso, el ion flúor tratado con cal se insolubiliza en forma de fluoruro cálcico, que precipita entonces hasta su límite de solubilidad, variable, en función de la naturaleza y de la concentración de las demás sales presentes en el agua, de 15 a 25 mg/l expresado en F.

En el segundo caso, los fosfatos precipitan por medio de una sal de calcio o de hierro, en forma de fosfatos de calcio o de hierro.

La precipitación del sulfato cálcico en forma de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), en la neutralización de una solución de ácido sulfúrico, relativamente concentrada, mediante cal, se asemeja igualmente a este tipo de tratamiento.

También en este caso se aceleran las reacciones por la presencia de cristales preexistentes, dando lugar a la formación de precipitados voluminosos.

1.4. Tratamiento de salmueras

Para la evaporación de las salmueras, con vistas a la producción de sal cristalizada, o su electrólisis para la fabricación de cloro, se necesita su previa depuración por precipitación química.

En el primer caso, se trata de obtener una sal de consumo con una pureza tan elevada como sea posible. En el segundo caso, el objetivo puede ser algo diferente, según el tipo de célula de electrólisis utilizado.

Si la célula es del tipo de diafragma el diafragma que separa al ánodo del cátodo evita la recombinación del cloro y del sodio, al mismo tiempo que deja pasar la corriente eléctrica - hay que operar de forma que el calcio y el magnesio no precipiten sobre este diafragma, con objeto de evitar su atascamiento.

Si la célula es del tipo de cátodo de mercurio, que fija el sodio en forma de una amalgama, debe conseguirse un alto grado de eficacia de la depuración con el fin de

eliminar especialmente los iones de hierro y magnesio que provocan la descomposición de la amalgama de sodio.

En ambos casos, con la eliminación de los iones de sulfato se consigue reducir el desgaste de los ánodos de grafito.

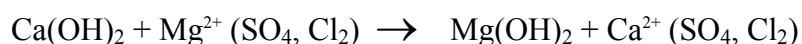
Lo que diferencia esencialmente a una salmuera bruta de un agua, es la concentración de los iones disueltos, la cual, en el caso de la primera, es de 10 a 10000 veces mayor que en la segunda. La disociación iónica incompleta que resulta, hace que la cinética de las reacciones de precipitación sea diferente de la que se aplica al tratamiento de aguas.

Una salmuera que atraviesa una batería de electrólisis experimenta un empobrecimiento de NaCl y una concentración de impurezas introducidas por la sal de aportación, impurezas que habrán de eliminarse antes de que la salmuera vuelva a la batería de electrólisis.

* Eliminación de los iones de calcio y magnesio.

El calcio y el magnesio se encuentran presentes en forma de sulfatos y cloruros.

El magnesio se precipita con cal en forma de hidróxido magnésico, según la reacción:



Por lo tanto, se produce una sustitución de los iones Mg^{2+} por iones Ca^{2+} que permanecen en solución.

El conjunto del calcio se precipita con carbonato sódico, en forma de carbonato cálcico. Mediante el empleo de un exceso de carbonato sódico (0,5 a 1 g/l) puede obtenerse una solubilidad residual del calcio comprendida entre 2 y 5 mg/l.

* Eliminación de los iones sulfato.

Los iones sulfato se encuentran presentes en las salmueras en forma de sulfato cálcico, sódico o magnésico. Como se ha indicado anteriormente, el sulfato magnésico se transforma en sulfato cálcico en la operación de eliminación del ion magnesio.

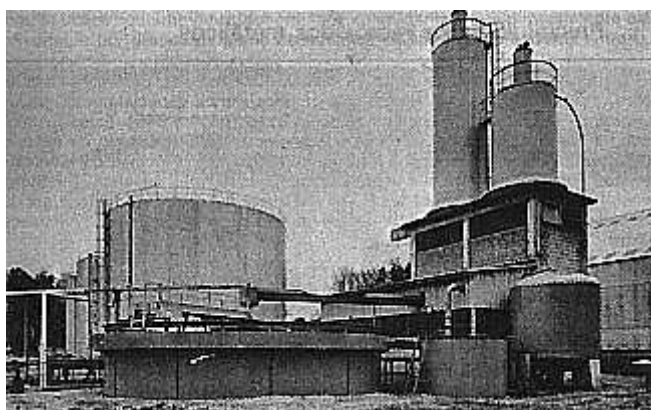


Fig. 72. - Tratamiento de salmueras. LES SALINIERES DE L'EST. Fábrica de Varangéville, Meurthe-et-Mosalle (Francia).

La solubilidad del sulfato cálcico en la salmuera, del orden de varios gramos por litro, depende de la concentración de esta última, y crece con la temperatura hasta 40 °C, decreciendo a continuación, rápidamente, de 50 °C a 120 °C.

Introduciendo en la salmuera iones Ca^{2+} en forma de CaCl_2 o Ca(OH)_2 , los sulfatos precipitan en forma de sulfato cálcico, hasta un contenido residual de SO_4^{2-} de 3 a 4 g/l.

Pueden realizarse dos esquemas de tratamiento, según que la precipitación de calcio y magnesio vaya unida o no a la de los sulfatos.

En caso de que no sea necesaria la eliminación de sulfatos, la cal y el carbonato sódico se inyectan en dos reactores recorridos en serie por la salmuera, antes de su entrada a un decantador, el cual, preferentemente, debe ser del tipo de recirculación de fangos, siendo la velocidad ascensional, de 0,75 a 2 m/h, función del contenido de magnesio de esta salmuera.

En caso de que la depuración haya de incluir un proceso de eliminación de sulfatos, esta operación, para la que se necesita la aportación de iones Ca^{2+} , habrá de hacerse previamente a la eliminación de los iones Ca^{2+} .

La instalación comprenderá entonces un reactor de recirculación de fangos, en el cual se mantendrá un elevado contenido de fangos (200 a 300 g/l) y en el que tendrá lugar la precipitación de los iones Mg^{2+} mediante cal, y la de los iones SO_4^{2-} con cloruro cálcico. Este reactor ira seguido de un reactor decantador de recirculación de fangos, en el que se inyectará el carbonato sódico destinado a la precipitación de los iones Ca^{2+} , completándose la decantación en un decantador de rasquetas.

1.5. Precipitación de hidróxidos metálicos

Se trata principalmente de la eliminación de metales pesados: cadmio, cobre, cromo, níquel, cinc, hierro, que se encuentran, especialmente, en los vertidos de talleres de tratamiento de superficies (página 845). Estos metales tienen la propiedad común, siempre que se encuentren en estado de iones y no de complejos, de precipitar en forma de hidróxidos o incluso de hidrocarbonatos, en una zona de pH característica de cada uno de ellos. De forma general, puede decirse que, si el pH del medio en el que tiene lugar la reacción se fija entre 8,5 y 9,5 la solubilidad de estos metales permanece dentro de unos límites tolerables.

2. APARATOS DE PRECIPITACIÓN

2.1. Precipitación en frío de calcio y magnesio

Como se ha indicado en el párrafo relativo al mecanismo de precipitación, es preciso, para que ésta sea rápida, que la reacción tenga lugar en presencia de una masa de cristales ya formados. Los aparatos utilizados en descarbonatación, combinada o no con

la eliminación de la dureza permanente, serán aparatos de contacto de fangos, o bien reactores con masa de contacto granular.

2.1.1. APARATOS DE RECIRCULACIÓN DE FANGOS

Los aparatos combinados, que incluyen una zona de reacción, descritos en el capítulo 7 «Decantación» se adaptan perfectamente a la precipitación del calcio y del magnesio: Circulator, Accelator, Turbocircuiator, decantador laminar RPS. En todos estos aparatos, gracias a la gran concentración de fangos que se mantiene en la cámara de reacción, la descarbonatación puede considerarse prácticamente terminada a su salida.

El Circulator y el Turbocirculator están especialmente indicados en la precipitación de los iones fluoruros y fosfatos. También se utilizan en tratamiento de salmueras, como reactores o decantadores reactores.

Con los aparatos provistos de dispositivos de barrido mecánico se obtienen unas concentraciones de fangos muy elevadas.

2.1.2. APARATOS DE LECHO DE FANGOS

Estos aparatos, especialmente el Pulsator se adaptan perfectamente a las precipitaciones de cinética lenta, y, por lo tanto, a la del yeso, en las soluciones sobresaturadas de sulfato cálcico. Con ellos se obtiene una aproximación al producto límite de solubilidad de este cuerpo.

2.1.3. APARATOS CON MASA DE CONTACTO GRANULAR

La diferencia esencial con los aparatos anteriores consiste en el empleo de gérmenes de mayor tamaño. Mientras que en los primeros aparatos, el tamaño de los cristales elementales de carbonato cálcico es del orden de 1/100 de mm, se utiliza aquí una masa denominada «catalizante», que generalmente está constituida por granos de arena de tamaños iniciales comprendidos entre 0,2 y 0,4 mm, contenida en un aparato de forma cónica. El carbonato cálcico precipita en la superficie de los granos, entre los cuales el paso ascendente del agua se efectúa a gran velocidad, teniendo lugar, al mismo tiempo, una reacción completa y una buena separación del precipitado.



Fig. 73. - Decantadores CIRCULATOR, de 20 m de Ø, en descarbonatación

Estos aparatos presentan tres ventajas:

- espacio reducido;
- posibilidad de funcionamiento a presión; combinándolos con filtros cerrados, puede descarbonatarse un agua sin romper la carga hidráulica;
- obtención, en lugar de fangos, de bolas del orden de 1 a 2 mm de diámetro, que se secan con gran rapidez.

Sin embargo, no pueden utilizarse para aguas que contengan demasiados coloides, ni en el caso de un contenido de magnesio tal que pueda producirse precipitación de hidróxido magnésico ($TMg > TH - TAC$). En efecto, éste no sincristaliza con el carbonato cálcico.

El Gyrazur (figura 74) está constituido por tres cilindros de diámetros crecientes desde la base hasta la parte superior, unidos mediante troncos de conos. Esta disposición permite un volumen de masa catalizante prácticamente doble del de un aparato clásico del mismo diámetro superior y de la misma altura. El agua bruta se introduce en el cilindro inferior, a gran velocidad, a través de una tobera excéntrica, que le transmite un movimiento ascendente helicoidal. La cal se introduce en el eje de la tobera, en forma de agua de cal o de lechada de cal fuertemente diluida, de forma que se obtenga una buena mezcla con el agua bruta.

Para evitar que los granos lleguen a tener un tamaño excesivo, con lo que sería imposible mantenerlos en fluidificación, se purgan periódicamente y se sustituyen por gérmenes finos.

La presencia de un volumen elevado de granos activos en el Gyrazur permite su funcionamiento a velocidades importantes (50 a 70 m/h).

Conviene advertir que el Gyrazur también puede utilizarse en desendurecimiento con sosa cáustica.

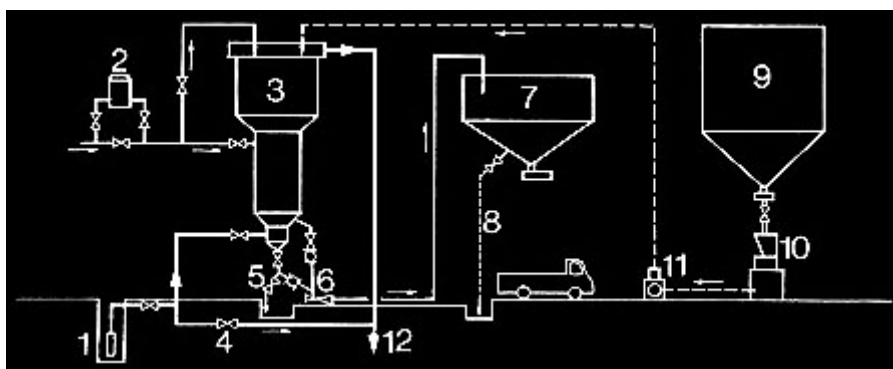


Fig. 74. - Esquema de funcionamiento de un GYRAZUR.

- 1 - Elevación de agua bruta.
- 2 - Cuba de carga de arena,
- 3 - Gyrazur.
- 4 - By-pass Gyrazur.
- 5 - Vaciado Gyrazur.

- 6 - Eyector.
- 7 - Silo de almacenamiento de bolas.
- 8 - Extracción de las bolas.
- 9 - Silo de cal
- 10 - Dosificador volumétrico.
- 11 - Bomba dosificadora.
- 12 - Salida agua tratada.

2.2. Aparato para descarbonatación y eliminación de sílice en caliente: termocirculator

Se utiliza este aparato exclusivamente para la descarbonatación con cal, combinada con la eliminación de sílice por magnesio, de agua de alimentación de calderas a media presión. Puede combinarse, además, la depuración química en caliente con una desgasificación.

Se efectúa el tratamiento a una pequeña presión, que corresponde a la tensión de vapor a temperaturas elegidas entre 102° y 115°C, según los casos.

A esta temperatura, las reacciones son rápidas y completas y se facilitan además por la recirculación de los fangos.

Se asegura esta recirculación mediante un emulsor de vapor, exterior al aparato, cuyo funcionamiento es fácil de controlar.

El agua bruta llega por (1), y se dispersa por el pulverizador (2) en el vapor que ocupa la parte superior del aparato. Se recalienta inmediatamente y cae al embudo (4), donde recibe los reactivos que llegan por la tubería (3) y donde se encuentra con los fangos recirculados por la tubería (10), con la ayuda del emulsor de vapor (12).

A continuación pasa el agua hacia la zona de decantación inferior, por la chimenea (5), asciende en esta zona, en la que se efectúa la separación de los precipitados, y pasa seguidamente hacia la filtración por la tubería (11).

Los gases no condensables son evacuados por la tubería (8).

Entre sus accesorios se incluyen, naturalmente, un regulador de vapor y un regulador de nivel de agua.

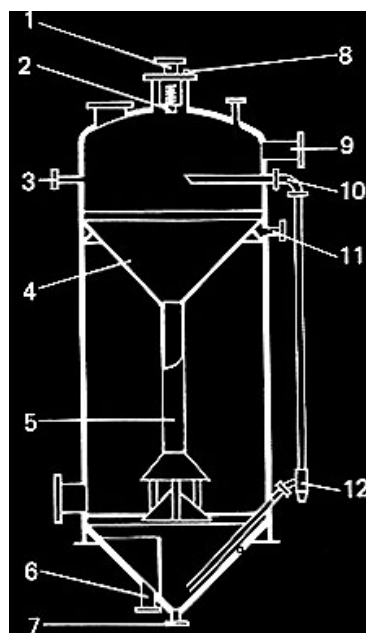


Fig. 75. - TERMO-CIRCULATOR.

- 1 - Llegada de agua bruta.
- 2 - Pulverizador.
- 3 - Llegada de reactivos.
- 4 - Embudo.
- 5 - Chimenea.
- 6 - Tubería de evacuación de fangos.
- 7 - Vaciado.
- 8 - Salida de gases incondensables.
- 9 - Entrada de vapor.
- 10 - Fangos recirculados.
- 11 - Salida de agua condensada hacia filtración.
- 12 - Eyector de vapor.

El vapor de recalentamiento se introduce por la tubería (9).

Los fangos sedimentados se recogen en la zona cónica inferior, desde donde son recirculados, depositándose el exceso de estos fangos en el concentrador (6) para su extracción.

Este aparato puede incluir, en su parte superior, una zona de desgasificación alimentada con agua decantada. En este caso, el vapor de calentamiento pasa por la cámara de desgasificación, antes de calentar el agua bruta.

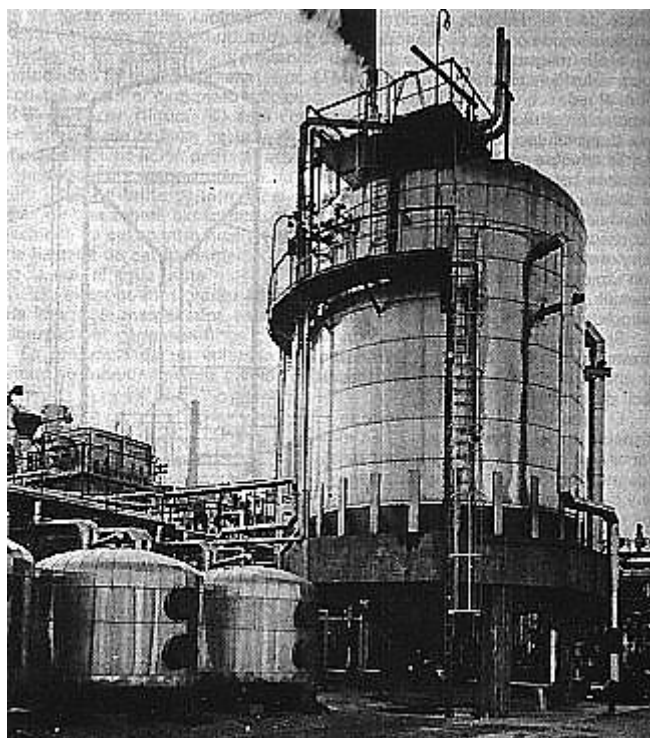


Fig. 76. Descarbonatación con cal en TERMO-CIRCULATOR de 7,5 m Ø. Caudal 240 m³/h. Refinería CALTEX, de KELSTERBACH, Francfort (Republica Federal Alemana).