XII. CEMENTACION

Es el proceso por el cual se incorpora carbono en la capa superficial del acero. Con ello se logra una superficie de alta dureza que le proporciona resistencia al desgaste después de un temple, y aumenta el límite de fatiga. Como se realiza en aceros de no más de 0.35 % de C, el núcleo conserva su capacidad de absorber energía de impacto.

La profundidad de capa debe ser tal que no se produzcan deformaciones permanentes en ella. Por lo tanto, será tanto mayor (de 0.8 al 4 mm.) cuanto más grande sea el esfuerzo a que está sometida la misma. Si sólo se requiere resistencia al desgaste, se usan capas de baja profundidad (0.1 a 0.5 mm.).

La cementación se realiza a temperatura superior a Ac_3 (900 a 950º C) de modo que el carbono difunde en la red cristalina del hierro γ; cuando se alcanza el límite de saturación de la austenita, en la superficie se puede formar una capa de cascarilla. Pero esto se observa raramente; en las condiciones normales, durante la cementación sobre Ac_3 se forma sólo austenita, y, luego del enfriamiento lento, los productos de su transformación (ferrita y cementita).

La capa cementada tiene una concentración variable de carbono en suespesor (Fig. XII.1), decreciente hacia el interior de la pieza; el objetivo es obtener la composición eutectoide en la superficie.

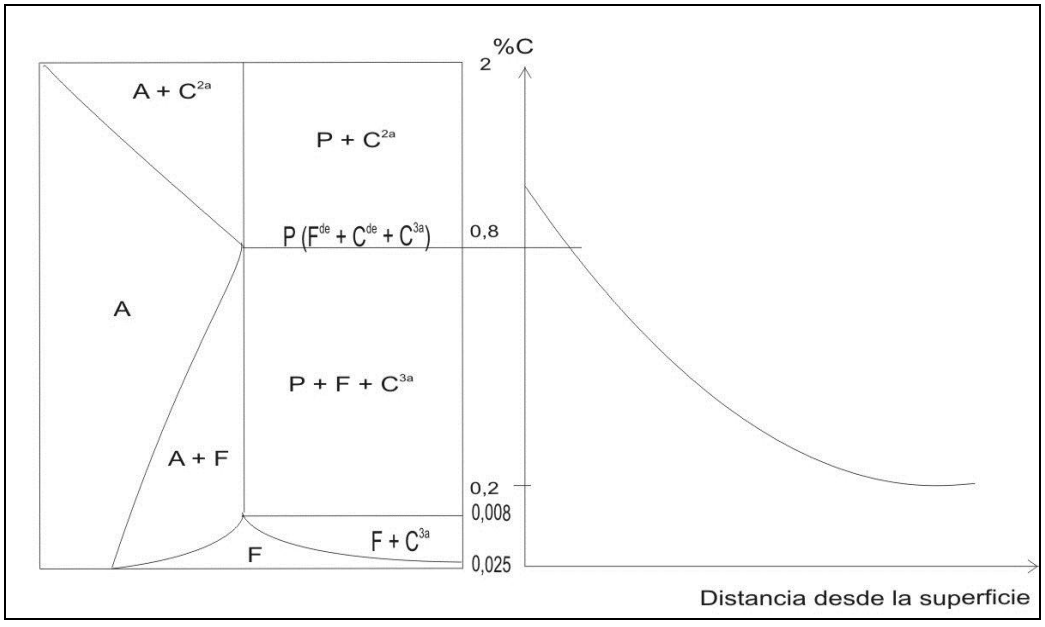


Fig. XII.1: Distribución de carbono desde la superficie

XII.1. Cementación sólida

En los procesos de cementación sólida y gaseosa la fuente de carbono es el *CO*. En la primera, éste se produce por un componente sólido que reacciona dentro de la caja de cementación, mientras en la gaseosa, el *CO* integra el gas cementante producido afuera del horno. En ambos procesos el *C* absorbido por el acero se forma por la descomposición del *CO* en *C* y el CO_2.

XII.1.1. Reacciones químicas

La cementación del acero en un medio cementante sólido como el carbón vegetal, sin adición de

activadores, sólo se puede realizar en presencia de una fase gaseosa activa, por ejemplo el aire, dentro de la caja de cementar:

$$C + O_2 \leftrightarrow CO_2 \quad \text{exotérmica} \quad (1)$$
$$C + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO \quad \text{exotérmica} \quad (2)$$
$$CO_2 + C \leftrightarrow 2\,CO \quad \text{endotérmica} \quad (3)$$

Mientras que la primera reacción se emplea a temperaturas relativamente bajas, la (3) representa un equilibrio que, al aumentar la temperatura se desplaza cada vez más a la derecha. La atmósfera interior de la caja de cementación se enriquece cada vez más en *CO*.

Se pueden emplear como activadores, carbonatos de bario, de sodio, de potasio, de magnesio o de estroncio. La eficacia como acelerantes de la reacción, disminuye en el orden en que se han citado. El proceso de activación se basa en las dos reacciones químicas siguientes:

$$MeCO_3 \rightarrow MeO + CO_2$$
$$CO_2 + C \leftrightarrow 2\,CO$$

La descomposición de los carbonatos no debe ser brusca, sino progresiva para que perdure una atmósfera gaseosa de composición constante dentro de la caja, durante mucho tiempo.

Durante el enfriamiento el óxido formado reacciona otra vez con el CO_2, según la reacción

$$MeO + CO_2 \rightarrow MeCO_3$$

de lo que se deduce que el agotamiento del activador es relativamente pequeño.

La cementación del acero sólo ocurre en un intervalo pequeño de temperaturas, entre 800º y 950º C:

$$Fe\gamma + 2\,CO \leftrightarrow [C]_{Fe\gamma} + CO_2$$

El CO_2 formado debe separarse rápidamente de la superficie del acero, pues de otra manera volvería a actuar como descarburante. Por esta razón, en el medio cementante debe mantenerse un equilibrio entre el *CO*, que actúa como carburante, y el CO_2, que es descarburante. Cuanto más *CO* exista, más se acelerará la cementación, y si hay exceso de CO_2, se frenará la cementación o incluso puede producirse descarburación.

X.1.2. Clases de compuestos cementantes

Los compuestos carburizantes comerciales normales tienen una mezcla de alrededor de 10 a 20% de carbonatos alcalinos u otros metales, con carbón de leña o coke exento de azufre, o ambos a la vez. El carbonato de bario es el principal activador y usualmente comprende el 60 a 70 % del contenido total de carbonatos. El polvo cementante más enérgico contiene el 40% de CO_3Ba solamente (exento de otros carbonatos) y se emplea para cementar aceros no aleados cuando se requieren grandes profundidades cementadas.

Por ser más reactivo que el coke, se prefiere usar el carbón de leña como fuente principal de carbono, pero el coke ofrece algunas ventajas, como la buena resistencia en caliente y buena conductividad térmica, de todas maneras, la mayoría de los componentes carburizantes tienen carbón de leña y coke, con mayor proporción del primero.

X.1.3. Ejecución y aplicaciones de la cementación en caja

Las piezas se empaquetan en una caja con una cantidad suficiente del polvo de cementar y colocadas de tal manera que toda su superficie se encuentre rodeada del polvo. Después se cierra la caja con una tapa y se hace la junta hermética con barro. Las cajas, y con ellas las piezas que llevan dentro, se calientan hasta la temperatura de cementación y se mantienen las horas necesarias para lograr la profundidad de cementación deseada. Una vez conseguida esta profundidad, lo que se comprueba rompiendo una probeta de ensayo, se enfrían las cajas al aire. Si las piezas deben mecanizarse después del enfriamiento, se recomienda realizar un recocido intermedio a 650º C, para conseguir que la dureza se mantenga igual o menor de HRc32.

La cementación en caja sólo se aplica a piezas con una capa cementada gruesa, que no deban templarse inmediatamente después de la carburación. Pueden alcanzarse profundidades de cementación de hasta 3 mm. La larga permanencia entre 900 y 1000º C asegura la eliminación de cualquier tensión existente procedente de la manufactura, pero pueden producirse deformaciones grandes. Otra desventaja es el embastecimiento del grano, como consecuencia de estas largas duraciones de la cementación. También se la emplea cuando las piezas son tan grandes que difícilmente podrían tratarse en baño de sales y, por último,

cuando no se dispone de baños de sales ni de instalaciones para cementar en gases.

X.1.4. Ventajas de la cementación en cajas

1) Puede usarse en una gran variedad de hornos, porque no requiere el uso de atmósferas controladas
2) Es eficiente y económico para el proceso individual de pequeños lotes de piezas
3) Incorpora un método simple para el enfriamiento lento de piezas que deben ser maquinadas después de la cementación y antes del temple
4) Ofrece una amplia selección de técnicas para cementación selectiva de las piezas.

X.1.5. Desventajas de la cementación en caja

1) no es adecuado para la producción de capas finas que requieran controles estrictos

2) no se puede controlar con exactitud el % de C de la superficie y del gradiente de carbono, como sí en la cementación gaseosa

3) no es adecuado para efectuar el temple directo o para enfriar en matriz.

El peso de la caja y del material cementante reduce la velocidad de calentamiento y de enfriamiento y por ello se necesita mayor tiempo de cementación.

X.1.6. Potencial de carbono y gradiente de carbono

Se denomina *potencial de C de la atmósfera* generada por el compuesto carburizante, al contenido de C obtenido en la superficie del acero; se incrementa con el aumento de la relación de *CO* a CO_2. El mayor % de C se desarrolla en la superficie del acero con el uso de energizantes o activadores que promueven la formación de *CO*.

El *gradiente de concentración* de C en las piezas cementadas está influenciado principalmente por el potencial de C, la temperatura de cementación, el tiempo y la composición química del acero.

X.1.7. Temperaturas de cementación

La cementación en caja se realiza normalmente entre 815º C y 950º C, pudiendo incrementarse cuando se tratan aceros de grano fino que se mantengan sin crecimiento a temperaturas cercanas a 1040º C.

X.1.8. Velocidad de cementación

La velocidad a la cual se logra la profundidad de capa, se incrementa rápidamente con la temperatura. Si se considera un factor de 1,0 para 815º C, el factor se incrementa a 1,5 a 870º C, y es algo más de 2,0 a 930º C. De todas maneras la velocidad de cementación es más rápida al comienzo del ciclo y gradualmente disminuye a medida que éste se extiende.

En la Fig. XII.2 se muestra la profundidad de capa en función del tiempo de cementación y en la Fig. XII.3, el gradiente de C para diferentes tiempos a una temperaturade 930º C en acero aleado SAE 3115.

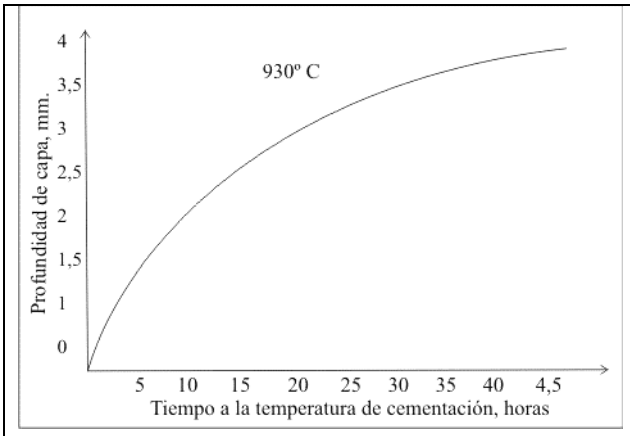


Fig. XII.2: Cementación sólida en acero SAE 3115

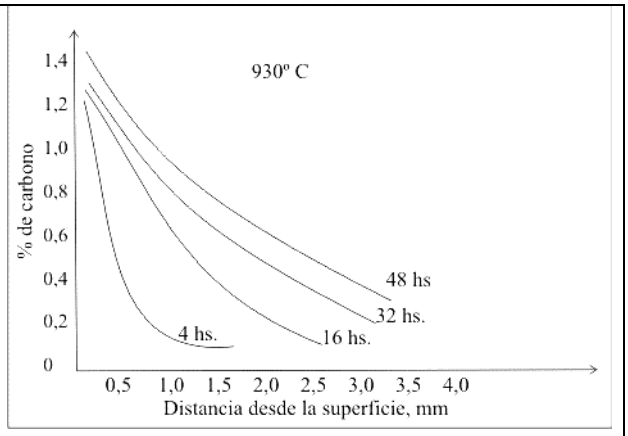


Fig. XII.3: Gradiente de carbono en acero 3115

X.1.9. Hornos para cementación en caja

La efectividad de un horno para la cementación en caja depende de su capacidad térmica y uniformidad de temperatura (los hornos deben ser controlables dentro de ± 6º C y capaces de mantener una temperatura uniforme dentro de ± 8 a ± 12º C). Además deben contar con una adecuada resistencia de la

solera para soportar las cajas y las piezas a la temperatura de cementación, y satisfacer ambos requerimientos a un costo razonable

Los dos tipos de hornos más comúnmente usados son los de semimufla y tipo PIT o sumergido. En los primeros las cajas se cargan con dispositivos mecánicos, algunos poseen una solera de carburo de silicio para mejor desplazamiento y resistencia al desgaste de las cajas. Además su alta conductividad térmica proporciona una uniformidad de temperatura.

Los hornos sumergidos son de uso general, para cementación y otras operaciones de tratamiento térmico, porque requieren un mínimo de espacio.

X.1.10. Cajas de cementación

Las cajas de cementación pueden ser de acero al C o aceros aleados resistentes al calor como el SAE 30330. En los primeros se forma calamina en su exterior durante el calentamiento en el horno y tienen menor vida útil, pero pueden ser más económicos cuando se deben procesar piezas de dimensiones inusuales y en baja cantidad. Las cajas de acero resistentes al calor son más económicas para series grandes de piezas y tamaño moderado.

No deberían ser más grandes que lo necesario, en lo posible angostas en alguna dimensión, para permitir al calor penetrar más rápidamente y alcanzar la temperatura de proceso simultáneamente.

X.1.11. Cementación selectiva

Además de las técnicas de protección empleadas en la cementación gaseosa, como puede ser el cobreado electrolítico, las pinturas de base cobre o dispositivos mecánicos, en la cementación en caja se puede permitir que alguna porción de la pieza no sea carburizada, envolviendo esa zona con material inerte u oxidante, o bien colocándola fuera de la caja de cementación si la geometría de la pieza así lo permitiera.

X.2.Cementación en baños de sales

Consiste en mantener las piezas por encima de A_{C3} en un baño de cianuro fundido, de manera que el carbono difunda dentro del acero y produzca una capa cementada comparable con la obtenida en la cementación gaseosa, cuando contiene algo de amoníaco.

La cementación líquida debe distinguirse del cianurado, que se realiza en un baño de alto contenido de cianuro, por el carácter y composición de la capa producida. En el cianurado la capa es alta en nitrógeno y baja en carbono, y en la cementación es la inversa, el % de C es mayor al de nitrógeno.

Excepcionalmente se utiliza para obtener capas cementadas de profundidades grandes; la máxima aplicación práctica es del orden de 4,5mm.

XII.2.1. Reacciones químicas en baños de sales

Existe una cierta discrepancia en las teorías que explican las reacciones que tienen lugar en un baño de sales. Según Rogiter:

$$2NaCN + Fe\gamma \rightarrow \underset{(cianamida)}{Na_2CN_2} + [C]_{Fe\gamma} \qquad (12)$$

El curso de estas reacciones se estudió sobre la base de ensayos en vacío o en ausencia de oxígeno. En la práctica no se realizan las cementaciones al abrigo del aire, y en los baños no activados se oxida primero el cianuro sódico a cianato,

$$2\ NaCN + O_2 = 2\ NaCNO \qquad (13)$$

el cianato vuelve a oxidarse

$$2\ NaCNO + O_2 = Na_2CO_3 + CO + N_2 \qquad (14)$$

o se descompone por la acción del calor,

$$4\ NaCNO \rightarrow 2\ NaCN + Na_2CO_3 + CO + N_2 \qquad (15)$$

El *CO* formado puede cementar de acuerdo con el equilibrio de Boudouard.

Según las ecuaciones (13) a (15), resultaría perjudicial para la cementación impedir o dificultar el acceso de oxígeno del aire a los baños no activados, cubriéndolos con grafito. La práctica lo ha confirmado, pues estos baños cementan peor cuando están cubiertos. Además, la eficacia de la carburación en los baños no activados depende de la profundidad de inmersión, siendo máxima inmediatamente por debajo de la superficie libre.

La reacción en el baño es muy distinta con las sales activadas, que contienen cloruros de bario o de estroncio, o mezcla de ambos. El cianuro sódico reacciona con estos cloruros, por ejemplo con el de bario, para formar cianuro

$$2NaCN + BaCl_2 = Ba(CN)_2 + 2NaCl \qquad (16)$$

El cianuro de bario se descompone a las temperaturas de trabajo de 850 a 930° C en cianamida de bario y carbono.

$$Ba(CN)_2 = BaCN_2 + C \qquad (17)$$

y la cianamida reacciona con el carbonato sódico formando cianato sódico y óxido de bario

$$BaCN_2 + Na_2CO_3 = BaO + 2NaCNO \qquad (18)$$

El cianato sódico se descompone, según la ecuación (15), en cianuro sódico, carbonato sódico, óxido de carbono y nitrógeno, y el óxido de bario formado según la ecuación (18), fija CO_2 con formación de carbonato bárico. Como consecuencia de esta reacción, resulta comprensible que la eficacia de la cementación no dependa de la profundidad de inmersión y que actúe igualmente cerca de la superficie y en el fondo.

XII.2.2. Tipos de baños

Se distinguen principalmente por la temperatura a la que operan, más que por ser de alta y baja cementación.

Los baños de sales de baja temperatura (profundidad de capa pequeña), son aquellos operados entre 815 y 900° C, adecuados para la formación de capas cementadas de 0,08 a 0,8 mm de profundidad. Son baños con acelerantes, conteniendo compuestos en distintas cantidades como se muestra en la Tabla XII.1. Se operan con una cubierta protectora de grafito y difieren de los baños de cianurado por la predominancia del carbono en la capa. No obstante, cuando la capa de grafito es muy fina y funciona a la temperatura más baja, se incrementa el contenido de nitrógeno en la capa. Las reacciones que se producen en estos tipos de baño son las indicadas en las ecuaciones (12), (13), (14) y (15).

Los baños de alta temperatura usualmente se operan en el rango de 900-950°C. Si bien puede llegar a ampliarse, a bajas temperaturas la velocidad de penetración del carbono se hace indeseablemente lenta y a temperaturas superiores a 950° C el deterioro del baño y del equipo es marcadamente acelerado. Los baños de alta temperatura se usan para profundidades de capa de 0,5 a 3,0 mm, pero generalmente se operan para profundidades de 1,0 a 2,0 mm. Están constituidos por cianuros y una mayor proporción de cloruro de bario, como se muestra en la Tabla XII.1. El principio de las reacciones de cementación es el indicado en las ecuaciones (16), (17) y (18).

Tabla XII.1: Composiciones de operación de baños de cementación líquida

	Composición del baño (%)	
	Baja Temperatura (815 -900° C)	**Alta Temperatura (900 - 950° C)**
Cianuro de sodio	10 -23	6 - 16
Cloruro de bario	0 -40	30-55
Sales de otros alcalino-térreos	0 - 10	0-10
Cloruro de potasio	0 -25	0 - 20
Cloruro de sodio	20-40	0 - 20
Carbonato de sodio	30 máx.	30 máx.
Cianato de sodio	1,0 máx.	0,5 máx.

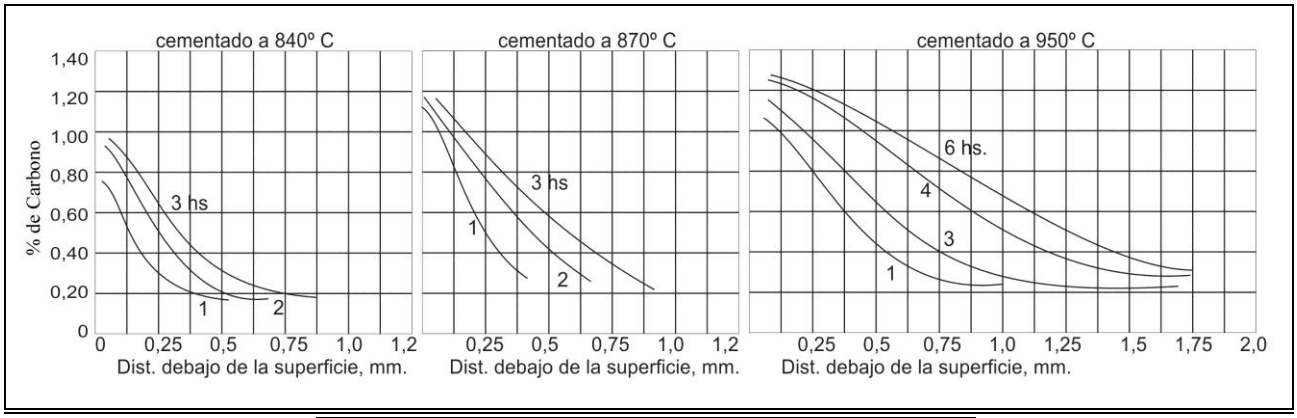
Ambos baños, los de baja y alta temperatura, se proveen en una variedad de contenidos de cianuros

para alcanzar la actividad de cementación (es decir, potencial de carbono) requerido, dentro de las lógicas limitaciones de mantenimiento por el drenaje de sales precipitadas y adiciones de nueva sal para regenerar la actividad, lo que hace variar el % de sal cementante de un período de uso a otro.

Tratamiento combinado: a veces se inicia el ciclo de cementación con un baño de alta temperatura, luego se transfieren las piezas a un baño de baja temperatura y luego se templa. Este proceso no sólo provee la máxima velocidad de cementación, sino que templando desde baja temperatura se reduce la distorsión.

XII.2.3. Gradiente de carbono

La Fig. XII.4 muestra los gradientes de carbono producidos por la cementación líquida en aceros SAE 1020 a 840º C, 870° C y 950º C para varios períodos de tiempo a la temperatura de cementación. En la parte inferior se puede observar el gradiente obtenido en un SAE 8620 cementado a 915º C durante 8 hs.



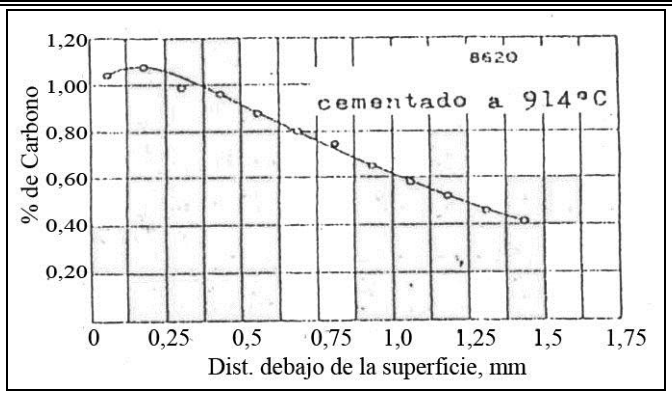


Fig. XII.4: Gradientes de concentración obtenidos cementando a diversas temperaturas y tiempos un acero SAE 1020 de 25 mm de diámetro, y un 8620 cementado a 915º C por 8 hs (abajo).

XII.2.4. Penetración del carbono (profundidad de capa)

En la cementación líquida, la profundidad de capa está determinada fundamentalmente por la temperatura y el tiempo de cementación. Los efectos de la composición del acero no tienen mucha importancia. La fórmula para estimar la profundidad de capa total es:

$$P_c = K.\sqrt{t}$$

P_c= profundidadde capa
t = tiempo de calentamiento, en horas
K = constante que representa la penetración en la primera hora.

Los valores de Pc a tres temperaturas diferentes son:

0,305 mm. a 815° C
0,457 mm. a 870° C
0,635 mm. a 930° C

XII.2.5. Gradiente de dureza:

El gradiente de carbono produce una variación de la dureza por debajo de la superficie. En la Fig. XII.5 se indican los gradientes de dureza obtenidos en aceros al C y de baja aleación. Los datos en aceros SAE 1020 y 8620 están graficados en ciclos de 2, 4, 8, 15, 20 y 40 hs. Las probetas fueron enfriadas al aire desde las temperaturas indicadas (870, 900 y 930° C), recalentadas en sales neutras a 845° C y templadas en

sales fundidas a 180° C.

XII.2.6. Hornos utilizados

Pueden calentarse exteriormente por quemadores de gas o fuel-oil, o por resistencia eléctrica.

Hornos a gas o fuel-oil: la Fig. XII.6 muestra el esquema de un horno usado para cementación líquida. Estos tipos de hornos son generalmente más económicos que los calentados por resistencia o electrodos, son simples para instalar y operar. El calor se aplica por 2 ó 3 quemadores que dirigen la llama tangencialmente hacia la pared exterior del crisol. Los gases de combustión son ventilados a través de una chimenea localizada cerca de la parte superior para los quemadores atmosféricos, y cerca del fondo para los quemadores de alta presión. La cámara de combustión está construida por ladrillos refractarios con una aislación adicional. Una chapa de acero rodea completamente los lados del horno, mejorando la resistencia mecánica.

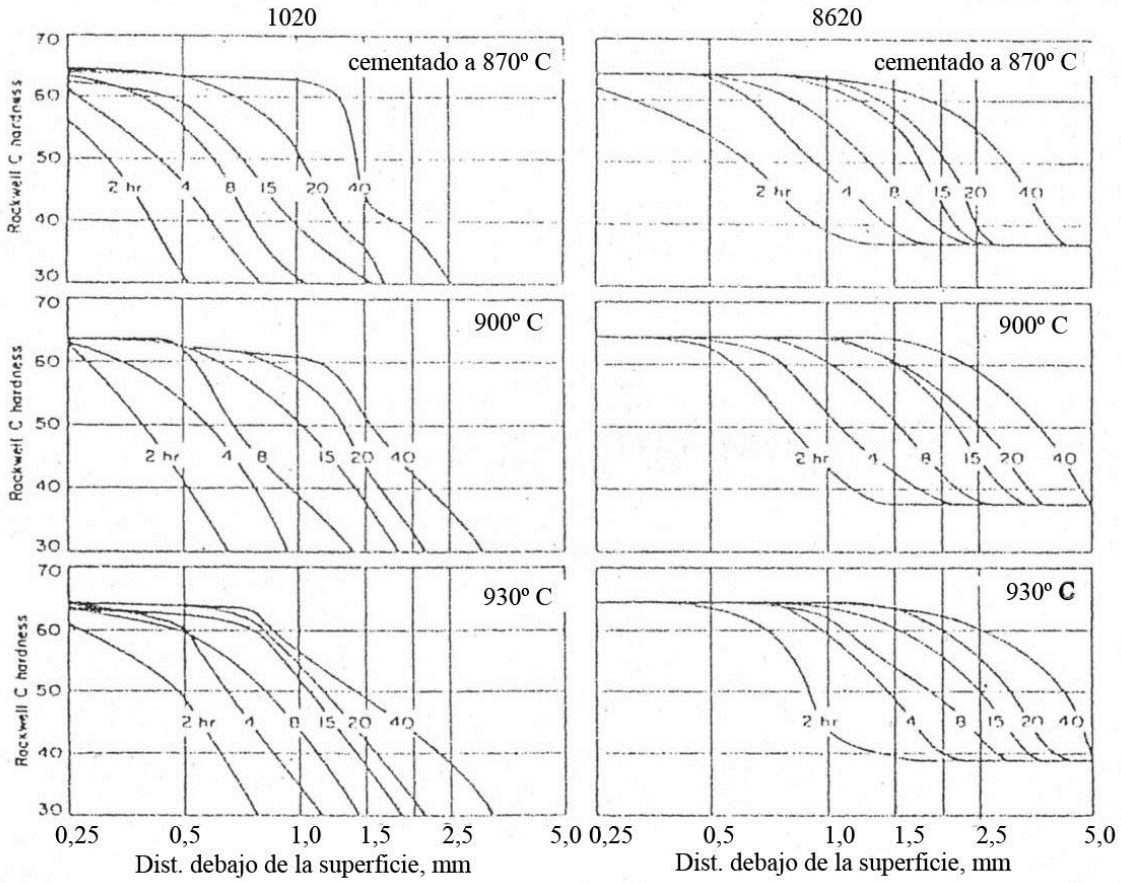


Fig. XII.5: Gradiente de dureza para aceros SAE 1020 y 8620, cementados a distintas temperaturas y tiempos.

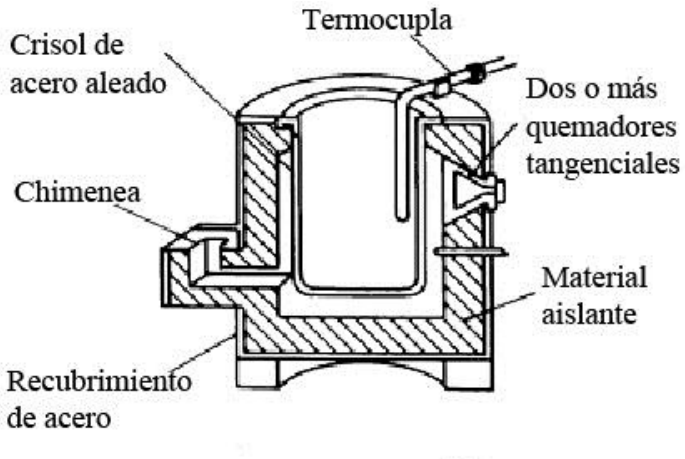


Fig. XII.6: Horno a gas o fuel-oil

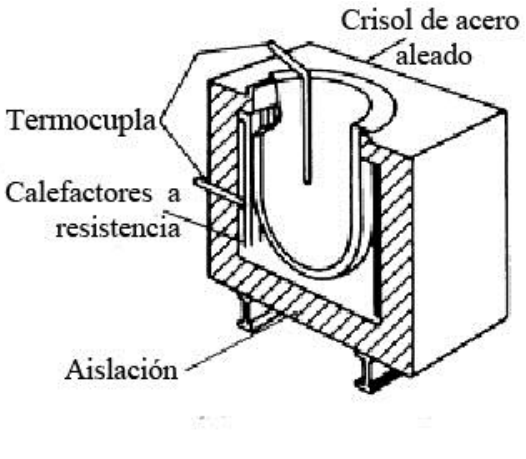


Fig. XII.7: Horno a resistencia

Hornos a resistencia eléctrica: la Fig. XII.7 muestra un esquema de estos hornos, que son menos usados que los anteriores. Se calientan por una serie de resistencias que rodean el crisol con las sales. Una falla o fractura del crisol puede producir la destrucción total de los elementos de calentamiento, por tal motivo generalmente se utilizan a temperaturas debajo de 900° C.

Crisoles de sales: ordinariamente los crisoles están soportados por su pestaña, por lo que su tamaño está limitado por la resistencia del material usado. Los crisoles redondos calentados por gas o fuel-oil tienen un diámetro de 25 a 90 cm. y una profundidad de 20 a 76 cm. Los eléctricos pueden alcanzar 35cm. de diámetro y 45 cm. de altura. Pueden conformarse en prensa de una sola chapa de acero de bajo % de C, o aleaciones de Fe-Cr-Ni, aunque resulta más económico fabricarlo a partir de chapa soldada de cualquiera de los materiales indicados.

Controles de temperatura: Las sales de cementación se controlan mediante una termocupla y un pirómetro adecuados. Cuando se operan entre 785 y 930° C en un sistema ON-OFF, los hornos con calentamiento exterior pueden tener una oscilación de la temperatura de ± 11° C. Si se necesita un control más estricto, se puede utilizar un sistema de control proporcional que puede tener una variación de ± 5,5° C.

Ventajas y desventajas de estos hornos: A causa de su facilidad para calentarse, son adecuados para operaciones intermitentes. Además, un solo horno puede utilizarse para una variedad de aplicaciones cambiando simplemente el crisol. No se adaptan para temperaturas uniformes y estrictas porque disipan calor por convección creando gradientes de temperatura en el baño. Además el retraso de la termocupla y el tiempo de recuperación del horno puede resultaren sobrecalentamiento o sobreenfriamiento. Por su tamaño no son prácticos para altos volúmenes de producción.

Hornos de electrodos sumergidos: Estos tipos de hornos permiten extender el rango de utilidad y la capacidad de los baños de cementación ya que el espesor de los crisoles de sales fundidas puede ser de12 a 32 mm. Están rodeados de material aislante, sostenido por una caja de chapa de acero que permite aportar la resistencia estructural adecuada al horno. Las sales fundidas se calientan por el paso de una corriente alterna a través de ésta, debido a los electrodos sumergidos. Como resultado de un crecimiento de la resistencia por el pasaje de la corriente a través de la sal, se genera fuerte calor, que es rápidamente disipado en toda la masa por la acción de agitación hacia abajo creada por los electrodos. Estos están conectados por cobre o aluminio a un transformador que convierte el voltaje de línea a un voltaje secundario de 5 a 15 V en los electrodos.

La temperatura se mide y controla automáticamente por un sistema que comprende termocupla, pirómetro, relay y contactor magnético. En la Fig. XII.8 se muestra un horno de estas características. La profundidad de los crisoles está usualmente limitada a 1,8 m. aunque para diseños especiales, pueden ser mayores. Pueden tratarse aproximadamente150 Kg./hora con una potencia de entrada de 200 Kw.

Ventajas: no requieren el uso de crisoles de aleación de Fe-Cr-Ni; bajo condiciones normales, la vida de un crisol de acero al C alcanza a un año o más. Requieren un mínimo espacio y mantenimiento para funcionar, y pueden usarse con todos los tipos de sales cementantes. Los electrodos inoperantes pueden cambiarse mientras el horno está en operación. Se pueden utilizar dentro de una variación de temperatura de 2^{o} C. El tamaño del crisol prácticamente no está restringido.

Desventajas: no son útiles para operaciones intermitentes. Los crisoles no son intercambiables.

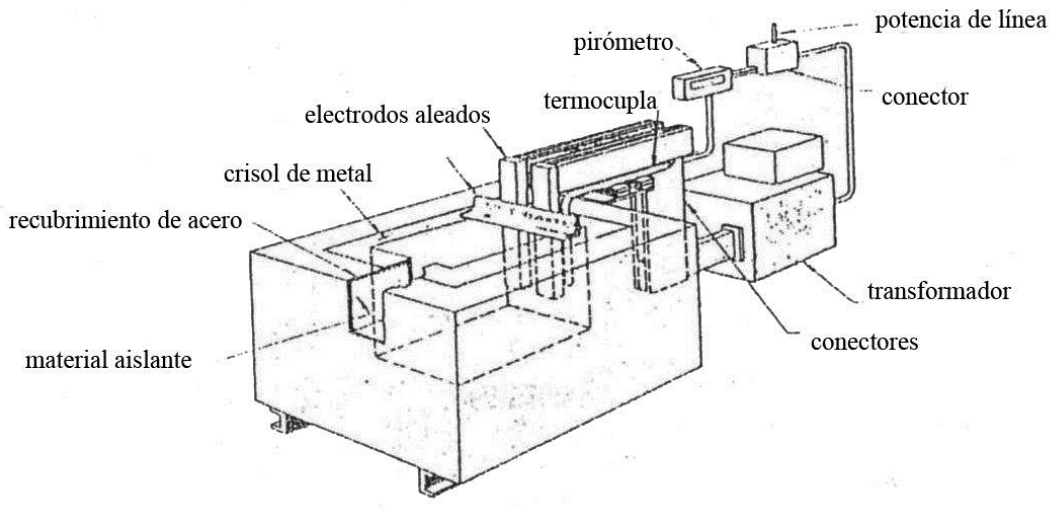


Fig. XII.7: Horno de electrodos sumergidos

XII.2.7. Dispositivos de tratamiento térmico:

En los baños de sales, las piezas pueden suspenderse con alambres o colocándolas en canastas. Algunos dispositivos de sujeción se muestran en la Fig. XII.9. Deben ser lo más simple posible. El peso del dispositivo debe minimizarse para evitar pérdidas calóricas excesivas al realizar la carga.

Los dispositivos indicados tienen las siguientes características:

a) Típica canasta para pequeñas piezas, equipada con un embudo para cargar las piezas en la canasta. El embudo asegura que las piezas se recubren de sal antes de encimarse en el canasto. El dispositivo puede fabricarse de barras de acero al C o aleado, y una malla de alambre de acero.

b) Canasta de Inconel de diseño simple; el gancho superior es para colgarla.

c) Canasta simple con bandejas para cargar piezas pequeñas. Las bandejas poseen un máximo de espacio de carga sin afectar adversamente la circulación. El dispositivo entero se hace de Inconel.

d) Dispositivo tipo perchero de Inconel para colgar piezas pequeñas que tengan cabeza o curvas.

e) Método de colgar las piezas con alambre; el alambre de acero recocido se usa para piezas de menos de 5 Kg.; para piezas más pesadas se usa alambre de inoxidable.

f) Ganchos de aleación de níquel, para colgar piezas circulares.

g) Método para colgar una pieza pesada, con agujeros roscados, para ser soportado por tornillos de acero inoxidable, ya que se necesita resistencia a elevada temperatura.

h) Perchero para colgar 6 pequeños cigüeñales.

i) Dispositivo especial para cementar el diámetro exterior de placas cojinetes y proteger las caras planas y diámetro interior de la cementación. Las placas externas del dispositivo puede fabricarse de acero al C, y las barras, de Inconel.

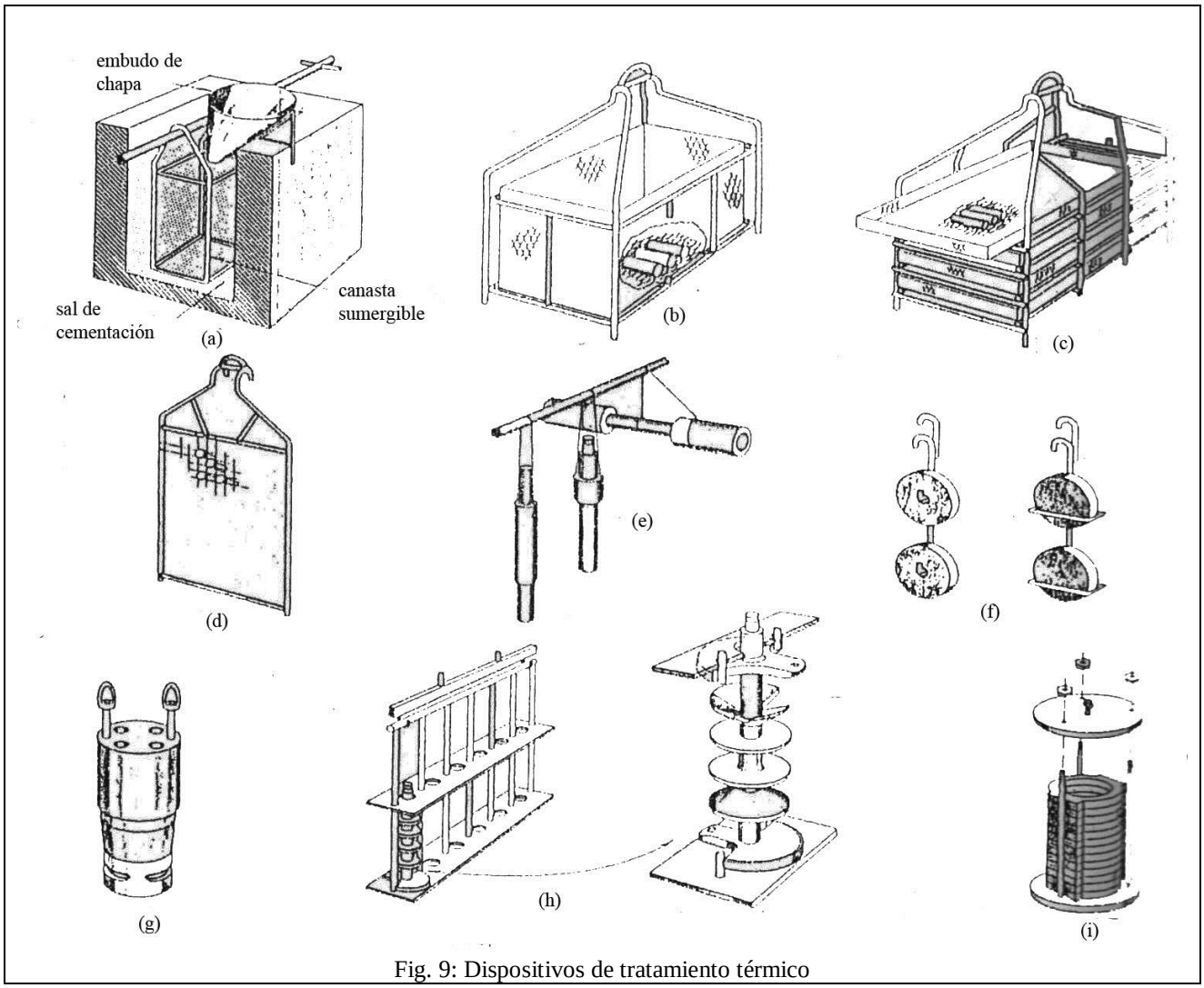


Fig. 9: Dispositivos de tratamiento térmico

XII.2.8. Líneas automáticas y semiautomáticas:

La Fig. XII.10 muestra un sistema totalmente automático utilizado para cementación y endurecimiento por baños de sales. El mecanismo tiene sincronizada una cadena transportadora continua que traslada

la carga por varias operaciones. Las piezas suspendidas de barras se mueven a través de los baños a una velocidad adecuada por un transportador principal. Transportadores de transferencia llevan las piezas de baño a baño. Completado el proceso, un tercer transportador levanta la carga de la última estación y la traslada al punto de carga. Antes de llegar, las piezas se secan por una corriente de aire caliente. Un operador carga y descarga las piezas.

Este mecanismo sólo puede usarse para piezas que tienen requerimiento similar (profundidad de capa, medio de temple, temperatura de revenido). No permite modificar el ciclo una operación sin afectar el ciclo de las otras operaciones.

Cuando varían los requerimientos de las piezas, se puede utilizar un mecanismo semiautomático tal como se observa en la Fig. XII.11. Las piezas se trasladan entre operaciones por un monoriel y avanzan automáticamente a través de los hornos de cementado y revenido por medio de un mecanismo de empuje y retroceso. Este mecanismo consiste en dos vigas paralelas con barras que accionan el mecanismo del movimiento y llevan las piezas colgadas a través de los baños (cementación y revenido solamente).

Esta línea semiautomática permite variar los tiempos de ciclo en cualquiera de las operaciones, sin afectar las otras, con lo que se consigue, por ejemplo poder efectuar el tratamiento de piezas con diferentes profundidades de capa.

XII.2.9. Medios de temple:

Los medios de temple más convencionales son agua, solución salina, solución cáustica, aceite y sales fundidas. La elección de cada medio debe relacionarse con las piezas específicas y dependerá principalmente de la templabilidad del acero, dureza requerida en la superficie y núcleo, y la distorsión permitida.

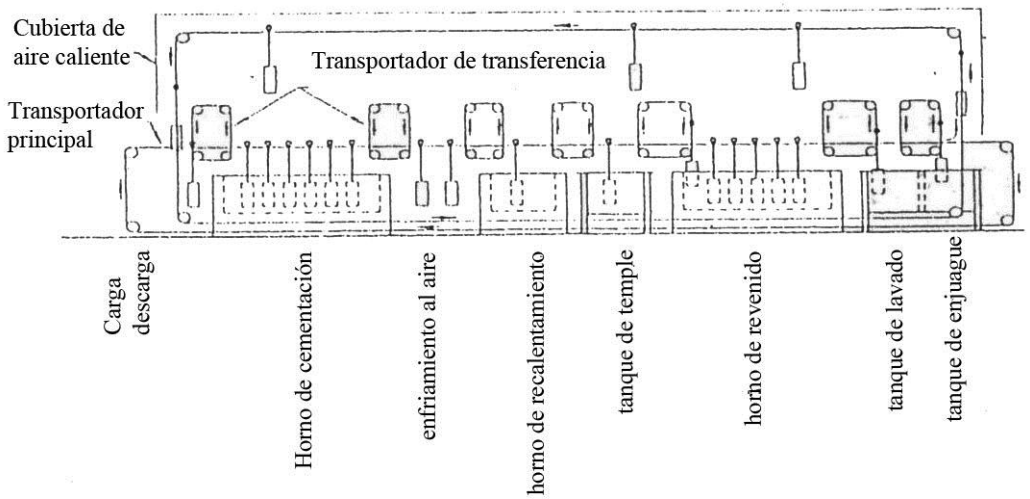


Fig. XII.10: Línea de cementación totalmente automática

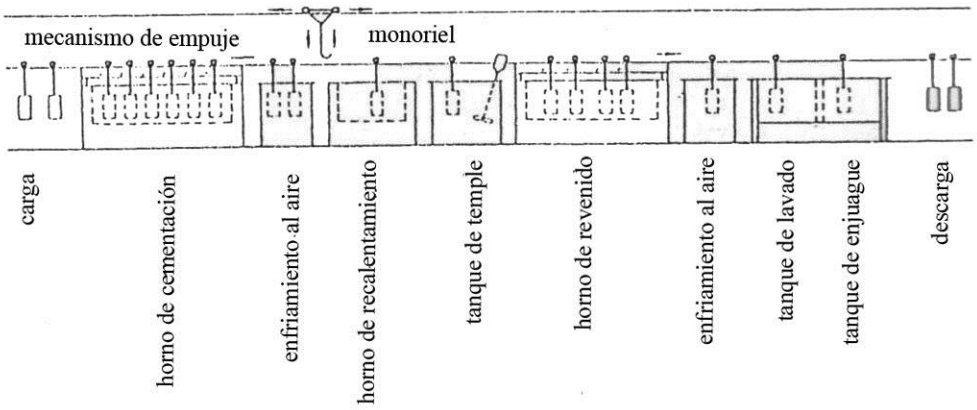


Fig. XII.11: Línea de cementación semiautomática

Agua y soluciones salinas: son los más convenientes; el agua se mantiene agitada a 25-30°C y ayuda a disolver las sales de cementación; la solución salina disminuye la fase vapor. Con el uso continuo la

concentración de sales (proveniente del baño de cementación) se incrementa, de allí que periódicamente debe ser controlada y cambiada cuando alcanza valores del orden de l3 % de sales disueltas en el agua de temple. También afecta a las soluciones salinas y cáusticas. En las primeras, la concentración de uso debe estar del 5 al 10 % de ClNa, y en la segunda, de 3 a 5 % de hidróxido de sodio, de manera que la severidad de temple se modifica con las sales que se disuelven en estos medios y que proviene del arrastre que traen las piezas de los baños de cementación.

Cuando se utiliza un medio de temple cáustico debe asegurarse que los dispositivos sean bien lavados antes de volver al ciclo ya que pequeñas cantidades de álcalis disminuyen la concentración de cianuro de los baños de cementación.

Aceites: son menos drásticos que el agua y producen menos distorsión. Como las sales de cianuro son muy alcalinas, es necesario que el aceite sea mineral puro para evitar la formación de jabones si llegara a tener ácidos grasos, que reducirían la efectividad del temple. Normalmente, las piezas cementadas se templan en aceite a temperatura entre 25 y 70° C, pero cuando se necesita el mínimo de deformación se puede usar aceite de temple en caliente (170° C). Debe mantenerse libre de humedad y agitarse mediante agitadores mecánicos.

Baños de sales de temple: se utilizan para minimizar la deformación, están compuestos a base de nitrito-nitrato, por lo tanto nunca deberá transferirse las piezas del baño de cianuro ya que resultaría en una violenta reacción exotérmica y podría explotar. Para evitar esta posibilidad, se debe utilizar un baño de sales neutras intermedio (45-55 % ClNa y 45-55 % ClK) para austenizar las piezas cementadas y templar luego en sales de nitrito y nitrato.

Lavado de las piezas cementadas en sales: La facilidad o dificultad para eliminar las sales pegadas en las piezas cementadas y templadas, depende principalmente de la forma, simple o intricada de las piezas, y del medio en que fueron templadas, ya sea agua o aceite. Las piezas de forma simple, sin agujeros y templadas en agua son fáciles de lavar; se utiliza normalmente un baño de agua caliente a 90° C con algún antioxidante. Las piezas templadas en aceite son más difíciles de limpiar a causa de la adherencia de las sales y que algunas son insolubles.

En este caso se necesita sumergirlas en agua caliente para suspender en la superficie el aceite y disolver las sales solubles. Luego sumergirlas en una solución caliente de detergentes y polvos limpiadores para eliminar el resto de las sales (las de tipo de silicatos, carbonato y fosfatos no son recomendables por la formación de sales insolubles de bario).