

2 5 7
7 6 A R

**XV CONGRESO INTERAMERICANO
DE
INGENIERIA SANITARIA**

BUENOS AIRES - REPUBLICA ARGENTINA - 20-25 DE JUNIO DE 1976

**ARSENICO, FLUOR y VANADIO
EN AGUAS DE BEBIDA
TECNICAS PARA CORREGIR SU EXCESO**

Dr. ROQUE CALLEGARO
Director Investigaciones

Lic. NESTOR DEAMBROSIS
Investigador

Lic. NESTOR CUSIMANO
Investigador

Fca. ELISA N. COTTA
Investigador

**LABORATORIO DE HIDRAULICA "GUILLERMO C. CESPEDES"
FACULTAD DE INGENIERIA - UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
CALLE 47 Nº 260 - Tel. 34870 - LA PLATA**

DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS - PROVINCIA DE BUENOS AIRES

257-76AR

257
76AR

772

Este trabajo ha sido desarrollado en los Laboratorios del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. El mismo fue posible realizarlo con el auspicio y ayuda económica de la Dirección de Obras Sanitarias - Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires.

RESUMEN DEL TRABAJO

ARSENICO, FLUOR Y VANADIO EN AGUAS DE BEBIDA. TECNICAS PARA CORREGIR EL EXCESO DE LOS MISMOS

El objeto del presente trabajo fue valorar procesos capaces de corregir aguas para consumo humano con elevada concentración de arsénico, flúor o vanadio.

Con tal propósito se ensayaron un regular número de sales, elementos y sustancias diversas, para finalmente circunscribir la tarea al grupo que resultó más apto.

Para la corrección del contenido de flúor, el elemento más viable y de aplicación fue el hueso granulado y desengrasado.

Nuestra riqueza ganadera, permite asegurar la materia prima necesaria para obtener el hueso aplicable al proceso de defluoración. En la República Argentina, existen varios abastos públicos de agua potable de reducido caudal, donde se utiliza este material.

La mayor objeción que se hace al uso del hueso, es la pérdida originada al desengrasarlo con soda y el olor que puede transmitir al agua en el primer tiempo de su uso. Fuera de ello, por su rendimiento y vida útil, constituye un excelente medio para eliminar cualquier exceso de flúor.

En la limpieza del material se ensayó reemplazar la soda por el calor, obteniéndose resultados alentadores en cuanto a evitar el olor y sabor en el agua.

La capacidad de intercambio decae levemente con respecto al hueso procesado con soda, en cambio el desengrase por el calor origina una menor pérdida de material.

Cuando la concentración de flúor en las aguas no es muy elevada, un procedimiento efectivo para llevarlo a límites aceptables, consistió en coagular la misma con sulfato de aluminio. La dosis necesaria es tanto mayor, cuanto más alta es la concentración de flúor presente.

Para la corrección del As y V, las sales y elementos que resultaron más aptos fueron los siguientes: cloruro de calcio-cal; cloruro férrico; sulfato ferroso-cloro y virutas de hierro.

La composición química del agua, en especial la alcalinidad, pH y salinidad, influyen de alguna manera en los procesos mencionados, debiendo hacerse los ajustes necesarios en cada caso.

Cuando el agua a corregir es dura, de elevada alcalinidad y el elemento en exceso es sólo el As, el uso de cal y cloruro de calcio al mismo tiempo que lo extrae, reduce la dureza y alcalinidad de las mismas. En este proceso, es necesario luego un ajuste de pH, para adecuarlo a las condiciones que requiere un agua potable.

Si el agua en estudio tiene exceso de As y V, el uso de las sales de hierro dan los mejores resultados cuando se alcanza el pH óptimo de coagulación para cada una de ellas.

Otro tratamiento eficaz para corregir el As y V, consistió en hacer pasar el agua a pH inferior a siete a través de un manto de viruta de hierro.

Este procedimiento de extracción del arsénico y vanadio, del que no tenemos referencia haya sido ensayado por otros autores, ha resultado real-

RECEIVED
MAY 10 1961
BIBLIOTECA NACIONAL
DE LA REPUBLICA ARGENTINA

mente eficaz. Se considera de aplicación en pequeños abastos de agua, donde se necesita corregir el exceso de estos elementos.

Para el ensayo, se utilizaron virutas de hierro de aproximadamente 3 a 10 mm de largo por 2 a 4 mm de diámetro, previamente desengrasadas. De esta manera, se obtuvo un buen contacto agua - hierro.

La velocidad de pasaje del agua por la columna de ensayo, se estima equivalente a 3 a 4 m³/h/m².

El pH de ingreso se hizo fluctuar entre 6,50 a 6,90.

Durante el pasaje por la columna el agua se carga de una cantidad variable de hierro, tanto mayor, cuanto más bajo es el pH. Para corregir éste, se recurre a distintos procedimientos que pueden ser:

- a) Dosis masivas de oal.
- b) Sulfato de aluminio.
- c) Polielectrolito: Floccotan.
- d) Floccotan - sulfato de aluminio.
- e) Polímero: Magnafloc - sulfato de aluminio.

La elección de uno u otro de estos métodos, depende de las condiciones locales, posibilidades de obtención de la materia prima, costos, instalaciones complementarias, eficiencia deseada, etcétera.

ARSENICO, FLUOR, VANADIO EN AGUAS DE BEBIDA

TECNICAS PARA CORREGIR EL EXCESO DE LOS MISMOS

En la República Argentina existen vastas áreas donde las aguas subterráneas tienen exceso de arsénico flúor o vanadio. Muchas de éstas, aptas para consumo humano de acuerdo a su salinidad total, dejan de serlo por presentar los elementos arriba citados, en concentraciones superiores a los límites tolerables.

En nuestro laboratorio, se ha determinado en aguas de la provincia de Buenos Aires, valores de hasta 2,60 mg/l de Arsénico, 24 mg/l de flúor y 9,00 mg/l de vanadio.

Esto, nos obliga a recapitular sobre la necesidad de estudiar los efectos y consecuencias que originan cualquier exceso de uno o más de estos elementos.

La acción sobre el individuo, de muy altas concentraciones de arsénico y flúor ha sido bien estudiada y por lo tanto se conocen sus efectos y consecuencias. En cambio, no está suficientemente esclarecida su incidencia cuando la población consume agua cuya concentración supera ligeramente o con cierta amplitud los límites tolerables.

El comportamiento del vanadio es aun menos preciso. Trabajos realizados en los últimos años, en áreas donde el agua tiene un contenido de vanadio de hasta 0,50 mg/l, sus autores le atribuyen un posible efecto favorable en el hombre. Estiman que a su presencia se debe la menor incidencia de afecciones coronarias y del sistema circulatorio, registrado en la población que las consume.

Será de verdadero interés profundizar conocimientos sobre la acción de As, F y V en la población de las áreas afectadas, valorando en toda su magnitud las consecuencias inmediatas y mediatas de los mismos.

En el presente trabajo se trató de determinar los procedimientos más viables para reducir los excesos de estos elementos en abastos de pequeño y mediano volumen.

Los ensayos previos se iniciaron con muestras de agua corriente de la ciudad de La Plata a la que se le agregó sales de As, F y V. Una vez seleccionado el agente corrector más apto, se descartó el uso de muestras preparadas, para ir a las fuentes naturales que contienen medianos y grandes excesos de uno o más de los componentes citados.

Se observó, que la eficiencia de los procedimientos utilizando aguas naturales, es siempre menor que cuando se emplean muestras preparadas. Se determinó asimismo, el distinto comportamiento de las aguas según su composición química, debiendo ajustarse las técnicas de proceso a cada caso.

Fueron ensayados distintos materiales y sustancias químicas, muchas de ellas con resultados muy poco efectivos. Entre éstas, se citan el uso de diversas bentonitas (San Juan, Mendoza, Neuquén), bióxido de manganeso, permanganato de potasio, sílice, hidróxido de magnesio, sulfuro de hierro, cal, diversos polielectrolitos, óxido de hierro (polvo), sulfato de magnesio, óxido de magnesio, fosfatos, etc., solas o asociadas, con resultado negativo o de escaso rendimiento.

En algunos casos, la eficiencia se logró empleando grandes concentraciones y en otros pocos, utilizando calor.

Como consecuencia del estudio previo, se seleccionaron los procedimientos más viables para reducir los excesos de uno o más de los elementos citados (As, F y V).

Las sustancias químicas consideradas más aptas son: cloruro férrico; sulfato ferroso; sulfato de aluminio; cloruro de calcio - cal.

Además se estudió el comportamiento de diversos materiales adsorbentes, muchos de los cuales resultaron ineficaces o muy poco prácticos. Entre estos últimos se citan las virutas de aluminio, virutas de cobre y el óxido de hierro en polvo.

Como elementos adsorbentes eficientes se destacaron, las virutas de hierro desengrasadas para eliminar el arsénico y vanadio y el hueso granulado y desengrasado para retener el flúor.

Se ensayaron aguas de distintos lugares de la provincia de Buenos Aires, algunas con alto contenido de As, F y V como la de Médanos, cuya riqueza en flúor fluctúa, para distintos pozos de la zona, entre 11,00 y 24,00 mg/l, el vanadio entre 2,50 y 9,00 mg/l y el arsénico entre 0,50 y 2,00 mg/l.

Otra agua estudiada fue la de Ameghino, partido de General Pinto, donde se hallaron fuentes con valores comprendidos entre 12,00 y 16,50 mg/l de flúor; 1,00 y 3,50 mg/l de vanadio, mientras que el arsénico varió entre 1,60 a 2,60 mg/l.

Todas estas muestras, provienen de pozos domiciliarios particulares, siendo utilizadas varias de ellas como agua de bebida.

La mayor parte de este trabajo se hizo con agua de Nueve de Julio, de pozos que alimentan el acueducto, mediante el cual se suministra agua potable a las localidades de French, Carlos Casares y Pehuajó. Algunas de las fuentes que primitivamente tenían un valor aceptable de arsénico y flúor, han experimentado un lento, pero sensible incremento en sus concentraciones. Por este motivo, se ensayó agua del pozo con mayor contenido de estos elementos, cuyos últimos valores fueron los siguientes:

Arsénico	0,30 - 0,40 mg/l
Flúor	3,50 mg/l
Vanadio	0,50 mg/l

CUADRO Nº 1 Anexo

Ante tal hecho, se intensificó el estudio para alcanzar el adecuado tratamiento de estas aguas y reducir tales elementos a cifras compatibles con las normas vigentes en nuestro país.

Los valores para agua potable en la República Argentina están incluidos en las llamadas: "Normas de calidad y control para aguas de bebida", Año 1973 y los mismos son los siguientes:

Características Químicas	Aconsejable	Aceptable	Tolerable
Arsénico mg/l	< 0,01	0,01	0,10
Flúor mg/l	—	0,70 - 1,20	2,00
Hierro mg/l	< 0,05	0,10	0,20

Estos máximos fueron establecidos por una comisión especial que reúne a los profesionales más destacados del país representando a instituciones ofi-

ciales como son Obras Sanitarias de la Nación; Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires; Ministerio de Bienestar Social de la Nación; Departamento de Ingeniería Sanitaria.

Las experiencias previas permitieron seleccionar las sustancias más aptas. Su aplicación está influenciada, en alguna medida por la composición química del agua a corregir.

GRUPO I - SALES.

- A) Combinación de cloruro de calcio y cal = Cl_2Ca -cal.
- B) Cloruro férrico = Cl_3Fe .
- C) Sulfato ferroso = SO_4Fe .
- D) Sulfato de aluminio = $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$.
- E) Cloruro férrico-sulfato de aluminio = $\text{Cl}_3\text{Fe}-(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$.

A) = **Combinación de cloruro de calcio y cal = Cl_2Ca - cal.**

Cuando se utilizó solamente cal, en concentraciones de hasta 1.000 mg/l, se observaron buenos porcentajes de reducción de arsénico, cuyo contenido inicial de 0,40 mg/l se redujo a 0,13-0,20 mg/l. Es decir, no se alcanzaron los niveles tolerables para agua potable. Fue necesario el aporte de otra sal que facilite la coagulación y adsorción del arsénico. Se utilizó para ello el cloruro de calcio. Con dosis de 50-100 mg/l de esta última sal, unido a 1.000 mg/l de cal se obtuvieron elevados porcentajes de reducción de arsénico, que redujeron a éste a valores por debajo de los máximos tolerables.

TECNICA

Agregado de cloruro de calcio - Agitación 5'.

Cal desleída - Dispersión 5'.

Acondicionamiento 30'.

Decantación 20' y filtración.

Ajuste de pH.

Para obtener mayor eficiencia en el proceso se aconseja mantener el orden de agregado de los reactivos y los tiempos indicados en las distintas etapas del tratamiento.

Sólo puede reducirse en parte la cantidad de cal, si se incrementa el cloruro de calcio. Dosis de 800 mg/l de cal y de 200 mg/l de Cl_2Ca , permitieron una suficiente reducción del As de la muestra en estudio, como así también, la de 600 mg/l de cal y 300 mg/l de Cl_2Ca . Con dosis menores de cal e incrementando aún más el Cl_2Ca no se obtuvieron resultados satisfactorios.

Para alcanzar una correcta eliminación del As es necesario obtener un pH mayor de 10,20.

Cuadro Nº 2 - Gráfico Nº 1 (Anexo).

Debido al elevado uso de cal, en todos los casos debe efectuarse un ajuste del pH final para cumplir con los requisitos especificados en agua de bebida.

Por varios procedimientos se airearon las muestras, pero no se obtuvieron resultados prácticos de interés. Una manera rápida y sencilla de hacerlo es mediante el agregado de pequeñas dosis de ácido clorhídrico que puede sustituirse por ácido sulfúrico.

La dosis de Cl_2Ca y el ajuste de pH, significan un incremento en las concentraciones de las sales que se debe tener en cuenta, en especial, para aquellas

aguas que presentan naturalmente un contenido de cloruros y sulfatos relativamente altos.

Con esta técnica, cuando se utilizan las concentraciones apropiadas de cloruro de calcio y cal, se logra simultáneamente reducir la dureza y alcalinidad del agua original.

Este procedimiento es aplicable únicamente para corregir el arsénico, ya que no se modifican las concentraciones de flúor y vanadio en cantidades de interés.

B) = Cloruro férrico = Cl_3Fe .

La eliminación del arsénico con cloruro férrico ofrece distintas variantes que están ligadas a las características propias del agua, en especial referidas al pH, alcalinidad, salinidad, como también al modo de operar.

En todos los casos es necesario una dispersión rápida y breve del coagulante, con un buen acondicionamiento y un tiempo de sedimentación prolongado para conseguir un sobrenadante límpido.

El cloruro férrico, en dosis de 10 a 20 mg/l, acompañado de una dosis de cal de 1.000 mg/l, elimina bien el arsénico y el vanadio, obteniéndose valores por debajo de los máximos tolerables. **Cuadro N° 3 - Anexo.**

TECNICA

Agregado de cloruro férrico. Dispersión 30" a 40".

Cal desleída. Dispersión 5'.

Acondicionamiento 30' a 40'.

Decantación y filtración.

Ajuste de pH final.

Se observó en este ensayo una rápida sedimentación y la formación de abundante lodo.

Se bajó la dosis de cal a 600 y 800 mg/l manteniendo el Cl_3Fe en 10 mg/l, con ello decreció la eficiencia del tratamiento. El As no alcanzó a encuadrarse dentro del valor tolerable, mientras que la concentración del hierro residual varió alrededor del máximo tolerable. Por lo tanto, no es posible reducir la dosis de cal cuando se utiliza baja concentración de la sal de hierro. **Gráfico N° 2 - Anexo.**

Cuando se usaron dosis de 60 a 200 mg/l de Cl_3Fe , sin cal, se logró la casi total eliminación del arsénico. Para obtener una buena coagulación se necesita alcanzar un pH aproximado de 6,50. De esta manera, se forma un buen coágulo y deja un líquido sobrenadante aparentemente límpido. No obstante, se apreció, una débil trama del coagulante que sólo sedimentó mediante una prolongada decantación. A esta fina suspensión debe dársele el tiempo necesario para sedimentar, si no pasa parcialmente a través del filtro, dejando un contenido de hierro residual que puede superar los límites tolerables.

Cuando se alcanza el pH óptimo y se prolonga la sedimentación del coágulo, los valores más frecuentemente hallados se encuadran en las normas. **Cuadro N° 4 - Gráfico 3 - Anexo.**

TECNICA

Agregado de cloruro férrico. Dispersión 30" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

Al elevar la dosis de Cl_3Fe , se mejora el porcentaje de As eliminado, pero no en la medida en que éste se incrementa.

Una variante de interés, dado el costo del cloruro férrico, consiste en bajar previamente el pH del agua.

Para optimizar el proceso, conviene acidificar la muestra, de manera que al agregar el coagulante el pH final fluctúe alrededor de 6,50. De esta manera, con dosis de 30 mg/l y aun menores, se consigue un buen corte y una elevada eliminación de los elementos citados.

Si bien el líquido sobrenadante es límpido e incoloro, conviene prolongar la sedimentación para evitar el pasaje de hierro con el agua filtrada.

Cuando se reducen las dosis del coagulante, se obtiene un paulatino aumento del As residual. **Cuadro N° 5 - Gráfico N° 4 - Anexo.**

C) = Sulfato ferroso = SO_4Fe .

Se ensayaron igual que en el caso anterior, diversas concentraciones, tiempos de agitación y acondicionamientos distintos, para obtener el procedimiento más adecuado.

El uso del sulfato ferroso en dosis de 5 a 20 mg/l, con elevada concentración de cal de 1.000 mg/l y pH próximo a 11, provoca una buena eliminación de As y V. Con cantidades mayores de coagulante, el porcentaje de reducción se incrementa. **Cuadro N° 6 - Gráfico N° 5 - Anexo.**

TECNICA

Agregado de SO_4Fe . Dispersión 5'.

Cal desleída. Dispersión 5'.

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

Ajuste de pH final.

El empleo de menor cantidad de cal y dosis creciente de SO_4Fe , 40 a 160 mg/l, con cloro en exceso, reduce en forma conveniente el As y V del agua, pero el sobrenadante obtenido es siempre más o menos coloreado y opalescente; el residual de hierro es elevado.

Al disminuir el agregado de cal no se alcanza el pH necesario para provocar el arrastre de todo el hierro. Con estas dosis se consigue eliminar bien el As, pero el agua queda con un elevado contenido de hierro. **Cuadro N° 7 - Anexo.**

Para obtener un líquido límpido e incoloro, libre de hierro residual, se necesita un agregado de cal que asegure un pH final superior a 10,70. Valores inferiores, dan como resultado aguas con turbiedad variable y hierro residual elevado.

El uso de cloro en exceso y SO_4Fe , en dosis de 120 a 300 mg/l, sin agregado de cal, origina un coágulo bien formado. Se reduce bien el As y V, pero al sedimentar se obtiene un líquido ligeramente opalescente con hierro residual elevado. Sólo una técnica muy cuidadosa, no siempre posible de llevar a la práctica, evita el pasaje de hierro al agua filtrada. **Cuadro N° 8 - Gráfico N° 6 - Anexo.**

TECNICA

Agregado de SO_4Fe y cloro en exceso.

Dispersión de 20" a 60".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

Estas técnicas a base de sales de hierro necesitan especial cuidado en su procesamiento, debido a la facilidad con que el hierro puede pasar a través del filtro en cantidades superiores a las tolerables.

Las sales de hierro no tienen acción en la eliminación del flúor.

D) = Sulfato de aluminio = $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$.

El uso del sulfato de aluminio reúne condiciones que lo convierten en una de las sales más aconsejables, por cuanto reduce al mismo tiempo la concentración del As y F.

Se hicieron ensayos con aguas que contenían igual concentración de arsénico (0,40 mg/l) y distinta de flúor (2,50 mg/l y 3,60 mg/l), variando las dosis del $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ y valorando el residual del As y F presente en el agua tratada.

La eliminación de los elementos citados guardan relación con la cantidad de coagulante empleado.

Las dosis utilizadas variaron entre 100 y 800 mg/l.

TECNICA

Agregado de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$. Dispersión de 20" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

A partir de las dosis de 300 mg/l de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, el As residual se reduce a valores tolerables, siendo tanto más bajo cuanto mayor es la concentración del coagulante empleado.

La reducción del flúor, aplicada en aguas con concentraciones distintas (2,50 y 3,60 mg/l), alcanza valores tolerables cuando se emplea el $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ en dosis de 100 mg/l para la primer concentración y de 500 mg/l para el contenido más elevado de flúor. Cuadro N° 9 - Gráficos N° 7 y 8.

La corrección de aguas con una riqueza de flúor de 7,70 mg/l, necesitó una dosis de coagulante del orden de 800 mg/l para reducirlo a valores de 2,00 mg/l o ligeramente inferior.

Esto significa, un incremento de los sulfatos, que unidos a los propios del agua, generalmente superan los límites tolerables.

A medida que se acrecienta la dosis de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, el coágulo se hace más fino y de difícil decantación. Si se quiere obtener un agua bien clarificada se debe prolongar el tiempo habitual de sedimentación.

Con el $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, más que con las sales de hierro, es necesario asegurar la evacuación de los lodos con suficiente frecuencia, para reducir a un mínimo la redisolución de los elementos retenidos por el coágulo.

E) = Cloruro Férrico - Sulfato de aluminio = $\text{Cl}_3\text{Fe} \cdot (\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$

Las sales de hierro tienen la propiedad de adsorber en mayor proporción el As y V que las de aluminio. En cuanto al flúor, es extraído por las sales de aluminio pero no por las de hierro, que carecen de acción sobre el mismo.

La combinación de ellas es tanto más aconsejable cuanto mayor es el exceso de As y V. presentes.

El uso de estas sales en aguas de Nueve de Julio redujeron el As y V, a valores algo inferiores a los obtenidos usando solamente igual dosis de sulfato de aluminio, mientras el descenso en el residual de flúor, se correlaciona con la concentración de esta última sal. Cuadro N° 10 - Gráfico N° 9 y 10 - Anexo.

TECNICA

Agregado de Cl_3Fe . Dispersión 20" a 40".

Agregado de $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$. Dispersión 20" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

BREVES COMENTARIOS SOBRE ENSAYOS REALIZADOS

En la eliminación del As mediante el empleo de cal y cloruro de calcio se necesita utilizar dosis de cal comprendidas entre 600 y 1.000 mg/l, siendo esta

última la óptima. Con el dosaje adecuado de cal, se requieren bajas concentraciones de Cl_2Ca , que deben incrementarse a medida que se reduce el contenido de cal.

El Cl_3Fe ofrece variantes, con las que se logran similares eficiencias en la eliminación del As y V.

- a) Muy bajas concentraciones de Cl_3Fe (10-20 mg/l) acompañado de altas concentraciones de cal (1.000 mg/l).
- b) Altas concentraciones de Cl_3Fe (60-200 mg/l) para obtener la dosis óptima de corte.
- c) Bajas dosis de coagulante (20 mg/l o menos) alcanzando el pH óptimo por acidificación previa.

El sulfato ferroso admite en la eliminación del As y V las siguientes variantes.

- a) Dosis bajas de coagulante (5 a 20 mg/l) acompañado de 1.000 mg/l de cal.
- b) Con concentraciones mayores de SO_4Fe (40-160 mg/l) la cal sólo puede ser reducida en la medida que asegure el pH necesario para precipitar todo el hierro residual.

El uso del $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ ha resultado eficaz para eliminar el As y F cuando los excesos de éstos no son grandes.

Se utiliza la combinación de Cl_3Fe y $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$, cuando las concentraciones de As y V son elevadas y van unidas a excesos moderados de flúor.

GRUPO II - MATERIALES ADSORBENTES

A) Virutas de hierro.

B) Hueso granulado desengrasado.

A) Virutas de hierro.

Entre los materiales adsorbentes se ensayaron rezagos de hierro. En un primer momento, se recurrió a restos de la industria de tamaños diversos, con los que se alcanzaron residuales de As de valores muy dispares, debido a que no se producía un buen contacto agua-hierro, ocasionando irregularidades en la retención del As y V.

Se uniformaron las virutas a distintos tamaños comprobándose que las demasiado pequeñas se compactaban en exceso, impidiendo el buen contacto agua-metal y las grandes permitían el pasaje del agua sin el debido contacto.

Luego de los ensayos previos se llegó a la conclusión que, virutas de 3 a 10mm de largo por 2 a 4 mm de diámetro, permiten un buen contacto y pasaje del agua a través de la misma.

Durante las primeras corridas se obtuvieron valores muy halagüeños, pero a poco de su uso se observó una rápida saturación del material. Para regenerarlo se utilizaron soda y ácidos fuertes en distintas concentraciones.

Con estas técnicas fue posible recuperar el material, pero nuevamente se saturaba en un corto número de corridas.

En la búsqueda de un procedimiento que prolongara su capacidad de intercambio, se modificaron distintas variables, entre las que se destacó el pH del agua en estudio.

Se observó que a bajo pH se obtenía una buena eliminación de As con un lecho prácticamente inagotable. Al hacer este ajuste, se determinó que el óptimo está entre 6,70-6,90, consiguiendo a la vez una buena extracción del arsénico y una baja acidificación del agua.

Durante el pasaje a través de la columna, se eleva paulatinamente el pH a valores adecuados para un agua de consumo.

Se armaron distintas columnas con manto de hierro en cantidades variables y de diferentes espesores y diámetros.

Como proceso de laboratorio se seleccionó la columna designada con la letra R.

COLUMNA R

Características:

Peso viruta: 400 gr.

Altura manto: 23 cm.

Volumen del material: 247 cm³.

Diámetro interno: 3,6 cm.

Superficie filtrante: 10,17 cm².

Tamaño virutas: largo 3 a 10 mm, diámetro 2 a 4 mm.

(Las virutas utilizadas corresponden a tubos de acero tipo Mannesman, sin costura).

Igualmente se ensayaron virutas de acero común y de fundición con similares resultados.

Este material debe ser previamente desengrasado, pudiendo utilizarse para ello, jabones, detergentes o soda a distintas concentraciones. Es necesario asegurar la correcta limpieza del hierro.

En la columna R, la velocidad de pasaje fue de 500 a 1.000 l/hora/m². Se estima que para una planta piloto con el empleo de un manto de 1 a 1,20 m de espesor, puede asignársele una velocidad de pasaje de unos 3m³/h/m².

La pérdida de hierro del manto, es en general reducida, si bien varía con el pH del agua, y se incrementa tanto más, cuanto más bajo es éste. Un arrastre grande de hierro origina en el proceso de su eliminación, un mayor consumo del coagulante utilizado; de allí que para optimizar el proceso conviene elevar el pH de pasaje tanto como sea posible, pero cuidando no afectar la eliminación del As y V. La condición óptima sólo puede determinarse a través de una prolongada carrera.

Si se produce un aumento del pH del agua en tratamiento, se incrementa la concentración de As y V en valores superiores a los límites tolerables. Se recupera la actividad de la columna bajando momentáneamente el pH del agua que ingresa a la misma. Con un pH de 6,50 ésta se activa rápidamente.

Otra forma de hacerlo, consiste en dejarla sin agua durante 24-48 horas para facilitar la oxidación del metal húmedo, con lo cual, al ponerla nuevamente en proceso, a pH apropiado, la columna adquiere nuevamente su capacidad de intercambio.

No obstante haber pasado por la columna más de 1.200 lts. de agua, el residual de As y V sigue siendo el mismo que al comienzo, sin signo de agotamiento.

Se comporta como una columna de muy larga vida y quizá inagotable; en tal caso sólo se requiere reponer periódicamente el desgaste sufrido por el material.

ELIMINACION DEL HIERRO RESIDUAL

En los tratamientos a base de sales de hierro, suele producirse con bastante frecuencia el pasaje de hierro a través del filtro; hecho que ocurre siempre en las columnas de contacto con este metal en cantidad variable, dependiendo del pH del agua. El hierro residual en todos los casos debe quitarse.

La necesidad de eliminarlo en forma práctica y al alcance de un proceso industrial, nos llevó a ensayar distintos procedimientos con tal propósito.

Se citan los más significativos.

- a) Dosis masivas de cal.
- b) Sulfato de aluminio.
- c) Polielectrolito: floccotan.
- d) Floccotan - sulfato de aluminio.
- e) Polímero: magnafloc sulfato de aluminio.

Los resultados alcanzados con los procedimientos y sustancias ensayadas se refieren al agua de Nueve de Julio.

De acuerdo a las características propias de cada agua, deben efectuarse los ajustes que mejor se adaptan a las mismas.

a) Dosis masivas de cal.

Solo grandes concentraciones de cal del orden de 700 a 1.000 mg/l para lograr un pH próximo a 11 o mayor, son efectivas en la eliminación del hierro. Dosis menores, dejan un residual tanto mayor, cuanto más bajo es el pH alcanzado. Este tratamiento tiene el inconveniente de exigir un elevado consumo de cal, provocando abundante lodo que es necesario eliminar y un alto pH, cuya reducción demanda el uso de un ácido fuerte, generalmente clorhídrico o sulfúrico para su ajuste. Esta operación implica un nuevo aporte de cloruros o sulfatos que se suman a los ya presentes en el agua.

b) Sulfato de aluminio.

El agua de Nueve de Julio, de elevada alcalinidad y pH comprendido entre 7,50 y 7,80 requiere altas dosis de sulfato de aluminio para eliminar el hierro residual. Estas fluctúan entre 160 y 500 mg/l de acuerdo al pH inicial.

Si previamente se hace un ajuste de pH, de manera tal, que por la acción del $(\text{SO}_4)_3 \text{Al}_2$ se alcance un pH final de alrededor de 6,50 con dosis sensiblemente menores, 60 a 100 mg/l, se obtiene una buena coagulación con el arrastre del hierro presente.

Cuando se usan elevadas dosis de sulfato de aluminio se origina un coágulo muy fino y de lenta sedimentación. Este puede llegar fácilmente al filtro, acortando su carrera e incluso pasar através del mismo. Sólo una muy prolongada sedimentación puede atenuar estos efectos.

TECNICA

Ajuste de pH.

Agregado de $(\text{SO}_4)_3 \text{Al}_2$ - Dispersión 30" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

El uso del sulfato de aluminio como procedimiento para eliminar el hierro residual, reviste particular importancia cuando se trata de aguas con cierto exceso de flúor, ya que éste actúa reduciéndolo tanto más, cuanto mayor es la dosis utilizada.

c) Polielectrolito: floccotan.

Se ensayó el uso de un producto nacional floccotan (polielectrolito obtenido a partir del extracto de quebracho) como precipitante de las sales de hierro.

Con este material se realizaron diversos ensayos variando las condiciones de trabajo, en especial: pH, dosis y tiempos de dispersión.

Con dosis altas del floculante, pudo obtenerse un coágulo bien formado, de fácil sedimentación, con sobrenadante límpido e incoloro.

La cantidad de floccotan agregado puede reducirse mediante el ajuste previo del pH con cal. De esta manera, resultaron eficaces dosis que varían entre 5 y 20 mg/l. Estas concentraciones están influenciadas por la cantidad de hierro a eliminar y el pH del agua a tratar.

Cuando el hierro residual es bajo y se ajusta el pH al óptimo de floculación, dosis de floccotan menores de 5 mg/l resultan eficaces.

El pH final con el que se han obtenido los mejores resultados está comprendido entre 8,10 y 8,40. Con valores menores o mayores de pH, se originan deficiencias en la eliminación del hierro tanto mayores cuanto más se aleja del pH óptimo.

Es importante en el tratamiento, la dispersión intensa y relativamente prolongada del orden de 2 a 3 minutos, para alcanzar luego con el acondicionamiento un coágulo suficientemente grande, con sobrenadante límpido, que sedimente bien.

TECNICA

Ajuste de pH.

Agregado de floccotan. Dispersión 2' a 3'.

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

d) Floccotan - sulfato de aluminio.

La acción conjunta del floccotan y sulfato de aluminio a pH óptimo, permite reducir aún más la proporción individual de cada uno de ellos y al mismo tiempo obtener un coágulo más apropiado.

El uso de floccotan en concentraciones de 2,50 a 5 mg/l, unido a dosis de sulfato de aluminio de 20 a 40 mg/l, previo ajuste de pH, permite eliminar bien el hierro residual.

TECNICA

Ajuste de pH con HCl o H_2SO_4 .

Agregado de floccotan. Dispersión 2' a 3'.

Agregado de sulfato de aluminio. Dispersión 30" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

El coágulo formado aunque liviano, sedimenta mejor que cuando se usan por separado los coagulantes citados.

e) Magnafloc - sulfato de aluminio.

Se ensayaron distintos tipos de magnafloc, coadyuvante derivado de la poli acril-amida, asociándolo al sulfato de aluminio. Estos se identifican comercialmente con los números 140-155-156-292-351.

La combinación del magnafloc y sulfato de aluminio resultó eficaz siempre que el pH final no sea superior a 7.

TECNICA

Agregado de magnafloc. Dispersión 3' a 5'.

Agregado de sulfato de aluminio. Dispersión 30" a 40".

Acondicionamiento 30'.

Decantación y filtración.

BREVES COMENTARIOS SOBRE ENSAYOS REALIZADOS

El magnafloc asociado al sulfato de aluminio puede eliminar eficazmente el hierro residual del agua cuando se lo ajusta a una determinada técnica.

Trabajando con concentraciones variables de polielectrolito y fija de sulfato de aluminio, a pH apropiado, se consiguió eliminar el hierro presente.

Las dosis de 0,10, 0,25 y 0,50 mg/l de magnafloc, combinando con 40 mg/l de sulfato de aluminio han resultado eficaces.

El rendimiento del proceso descrito está influenciado en buena parte por el pH final que es necesario alcanzar. Los mejores resultados se han obtenido cuando dicho pH se halla entre 6,50 y 7.

En todas las experiencias se observó la formación de un coágulo muy fino y como consecuencia, de decantación lenta. Esto hace necesario prolongar la sedimentación para asegurar un sobrenadante suficientemente limpio. Así se evita el pasaje de hierro a través del filtro obteniéndose un agua libre de este elemento.

B) Hueso granulado y desengrasado

La eficiencia del hueso como elemento defluorante ha sido demostrada y aceptada por muchos autores que han trabajado en este tema.

Su uso ha tenido algunas objeciones fundadas principalmente en el olor y sabor que puede transmitir al agua, cuando el desengrase es deficiente.

La técnica corrientemente utilizada para despojar al hueso de todo resto orgánico, consiste en el empleo de soda cáustica a elevadas concentraciones, del orden de 20-40 %, con calor o sin él. Esto origina grandes pérdidas de material, que puede llegar a ser del orden de 30 a 40 %. Fuera de estos inconvenientes, no se le hace mayores críticas.

El hueso que se obtiene en plaza, en general, sólo ha sido sometido a un desgrase industrial primario y a una grosera molienda.

En un intento para mejorar el proceso de limpieza, se recurrió a la calcinación. El hueso original fue sometido a distintas temperaturas con resultados diversos.

Exponiéndolo a 700°C, el tiempo necesario para alcanzar un color apenas grisáceo o blanco, el material pierde prácticamente toda su eficiencia. Esto también ocurre cuando es sometido a temperaturas más bajas, durante varias horas, hasta obtener el blanqueo del hueso.

Con temperaturas de 500-600° C y tiempo de exposición de 15 a 30 minutos, se consigue suficiente destrucción de la materia orgánica, manteniendo su capacidad de intercambio.

La pérdida originada por la calcinación es del 17 al 20 %.

La técnica de calcinación del hueso es sencilla, sólo requiere remover con cierta frecuencia el material a los efectos de uniformar el quemado. De esta manera, se obtiene un material de aspecto homogéneo.

El hueso así tratado se ensayó comparativamente con el desengrasado con soda.

Columna H: Hueso tratado con soda.

Columna P: Hueso tratado con calor.

COLUMNA H

Características:

Peso del hueso: 250 gr.

Altura de manto: 25 cm.

Volumen ocupado. 282 cm³.

Diámetro interno: 3,60 cm.

Superficie filtrante: 10,17 cm².

Tamaño del hueso: 1,17-2,36 mm.

El hueso que se utilizó fue facilitado por el frigorífico Swift de la ciudad de Berisso.

Se cubre el hueso con soda al 30 % a temperatura de 25 a 30° C, se agita diendo de la siguiente manera:

Se cubre el hueso con soda al 30 % a temperatura de 25 a 30° C, se agita lentamente renovando la soda al cabo de una hora y continuando el contacto con agitación esporádica por dos horas más. Se elimina la soda, enjuaga tres veces con agua, escurre bien y cubre nuevamente con soda al 30 % a la temperatura indicada, dejándola en contacto tres horas más. Se lava y neutraliza con solución de Hcl al 1 %, hasta reacción negativa a la fenoltaleína.

El color y aspecto del hueso obtenido con este tratamiento, es el de un material aparentemente bien desengrasado y sin olor. No obstante las características indicadas anteriormente, el agua resultante de las primeras corridas presentó una ligera turbiedad y olor desagradable, signo de que el hueso no había sido totalmente desengrasado.

Los rendimientos obtenidos en promedio coinciden con lo expresado por distintos autores que han trabajado sobre el tema. Este valor es el equivalente a la extracción de 0,80-1 gr de flúor por Kg. de hueso.

En las condiciones del ensayo la merma del hueso ha sido estimada en un 0,08 % por regeneración. Es aconsejable reponer el hueso del manto hasta el nivel inicial, cuando la pérdida supera el 10 %.

COLUMNA P

Características:

Peso del hueso: 200 gr.

Altura del manto: 24 cm.

Volumen ocupado: 244 cm³.

Diámetro de la columna: 3,60 cm.

Superficie filtrante: 10,17 cm².

Tamaño del hueso: 1,17-2,36 mm.

La columna P se armó con hueso desengrasado mediante calor a 600° C, durante 30 minutos. El material así tratado presenta una vez humectado, un color gris oscuro bastante uniforme.

Se observó que desde las primeras corridas el agua pasa limpia e incolora, sin olor alguno.

Al desengrasar el hueso por el calor se reduce la pérdida de material con respecto al tratado con soda, pero el rendimiento de la columna P, es algo menos al obtenido con la columna H.

En el resumen, se aprecian los resultados alcanzados.

RESUMEN DE LA ACTIVIDAD DE LAS COLUMNAS "H" Y "P"

Columna	Ciclos	Rendimiento promedio F/hueso gr/kg.	Tiempo medio Pasaje h/l.	Agua en estudio
H	26	0,81	2	Ameghino Médanos Nueve de Julio
P	21	0,75	2	Ameghino Médanos Nueve de Julio

BREVES COMENTARIOS SOBRE ENSAYOS REALIZADOS

El uso de virutas de hierro como proceso de corrección del As y V puede resultar de interés, por cuanto durante el proceso sólo requiere reducir el pH del agua a tratar a valores de 6,90 o menores. En estas condiciones la columna parece no agotarse, el agua durante su paso por la columna eleva el pH y arrastra consigo un residual de hierro, tanto mayor, cuanto más bajo es el pH de pasaje.

El hueso desengrasado mediante el calor, hasta el momento, ofrece ventajas y desventajas que conviene considerar.

Ventajas:

- a) Menor pérdida del material en el tratamiento de desengrase.
- b) Desde un primer momento el agua pasa incolora y libre de olores extraños.
- c) Menor operatividad en el proceso de desengrase.

Desventaja:

- a) El rendimiento es algo menor al de la columna desengrasada con soda. Un hecho aún no definido, es la relación de vida útil entre las columnas H y P. Ello demandará largo tiempo de uso, para juzgar con claridad el desgaste de uno y otro material.



CONCLUSIONES

1. El As, F y V, en aguas donde el exceso de estos elementos ha sido agregado artificialmente, resulta de más fácil remoción, que cuando son propios de las mismas. Esto hace que los tratamientos en aguas preparadas artificialmente, no den las pautas reales requeridas para las aguas naturales.
2. La calidad y cantidad de las sales presentes en el agua inciden en la eficiencia del tratamiento, lo que implica la necesidad de adecuar las condiciones operativas, a las características propias de cada una.
3. Los parámetros químicos que más influyen en la selección y rendimiento del tratamiento son: pH; alcalinidad, dureza y sales totales.
4. El cloruro de calcio y cal son eficientes únicamente para extraer el arsénico.
5. Las sales de hierro son particularmente importantes para corregir el As y V, no así el F.
6. Cuando hay grandes excesos de As y V es aconsejable el uso de virutas de hierro.
7. El proceso de adsorción empleando virutas de hierro tiene la ventaja de su fácil operatividad y su rendimiento. Hasta el momento, el material parece no agotarse, resultado muy promisorio.

Para este tratamiento se debe reducir previamente el pH del agua a tratar, a valores de 6,90 o menores. Durante el pasaje por la columna, el agua eleva su pH, y arrastra consigo un residual de hierro, tanto mayor, cuanto más bajo es el pH de ingreso.

8. El empleo de sales de hierro deja, con frecuencia, un residual del mismo, que debe quitarse.
9. Para la eliminación del hierro residual en exceso, puede utilizarse según convenga:
 - a) Fuertes dosis de cal.
 - b) Un polielectrolito orgánico.
 - c) La combinación de sulfato de aluminio con un coadyuvante.
10. El sulfato de aluminio es eficaz para corregir el As y F, cuando la concentración de estos elementos en el agua no es muy elevada.
11. En aguas que contienen grandes excesos de flúor, el hueso desengrasado constituye el procedimiento más apto.
12. El hueso puede ser desengrasado con soda o mediante calor.

El uso de la soda origina pérdidas de material mayores a las producidas por el calor y con frecuencia en las primeras corridas, se perciben olores desagradables en el agua, cosa que no se observa con el hueso calcinado. Sin embargo, éste tiene un rendimiento algo menor con respecto al desengrasado con soda.
13. Los costos de proceso para corregir los elementos estudiados, son siempre bastante mayores a los necesarios para potabilizar aguas superficiales por métodos convencionales.
14. Las plantas con tratamientos para reducir el As, F y V, cualquiera sea el procedimiento utilizado, deben ser atendidas por personal idóneo y bien entrenado, para asegurar la eficiencia del proceso.
15. Se sugiere realizar ensayos a nivel de planta piloto para alcanzar todos los ajustes previos necesarios, a una instalación para suministro público. (Planta piloto, Anexo).

Del presente trabajo se extraen los lineamientos para dos ponencias, dejando la redacción final a criterio de la mesa donde corresponda ser tratado el mismo.

PONENCIAS

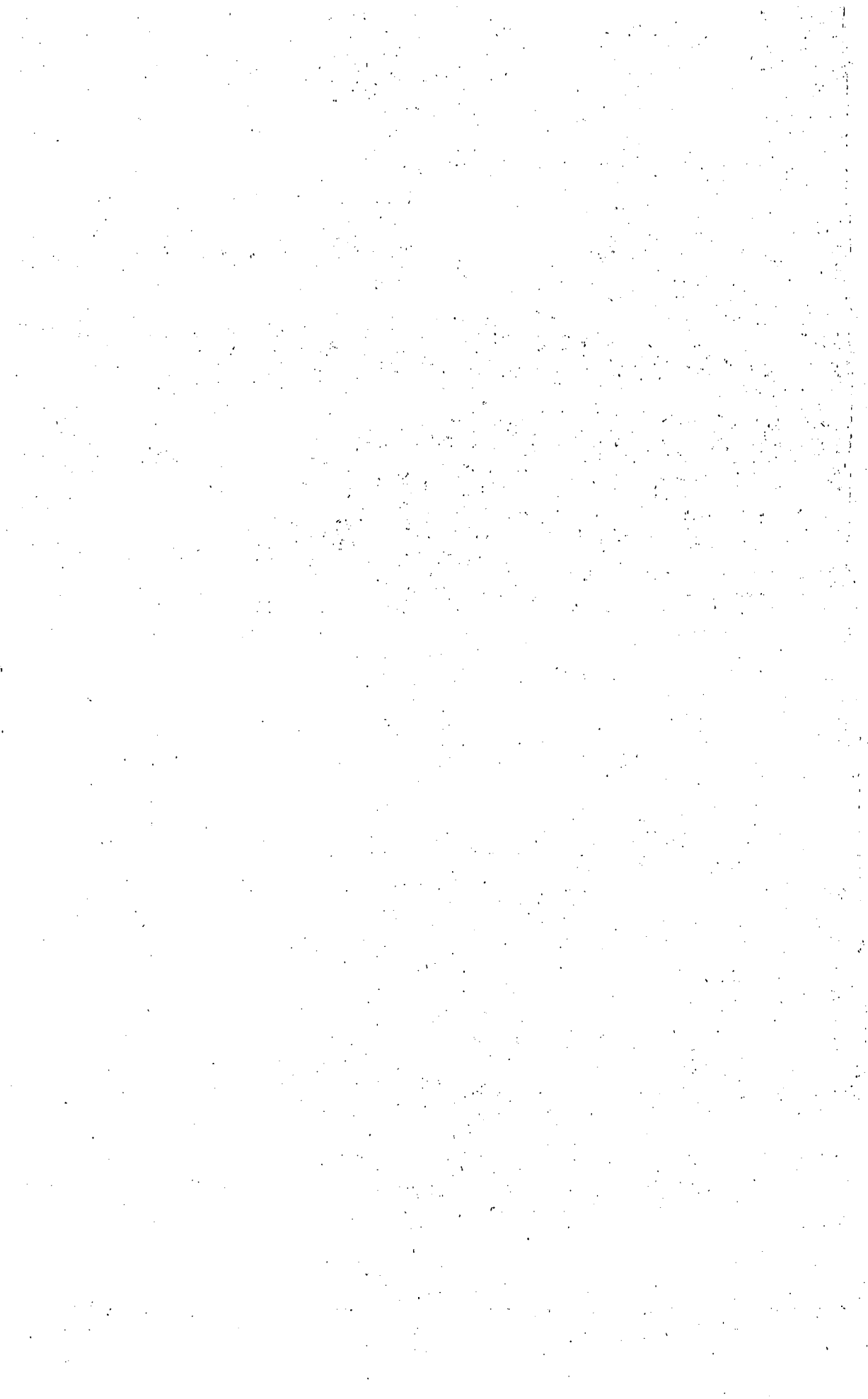
- I. Visto el consumo por parte de la población de aguas con exceso de As y F, o de uno de estos elementos considerados peligrosos para la salud, se sugiere a los organismos estatales competentes instalar plantas piloto, que permitan ensayar él o los procedimientos considerados más aptos para tales propósitos. Las mismas se harán en escala apropiada, para alcanzar la necesaria experiencia que asegure su aplicación y a la vez determinar costos de instalación y de proceso.
- II. Dada la frecuencia con que el As, F y V, se encuentran presentes en aguas de la República Argentina, en cantidades elevadas, se sugiere interesar a las autoridades de Salud Pública, para que se realicen los estudios tendientes a determinar, la incidencia de dichos elementos en el organismo humano, en las distintas edades.

Tales estudios permitirán establecer con criterio realista los distintos límites y efectuar las correcciones que los mismos demanden.

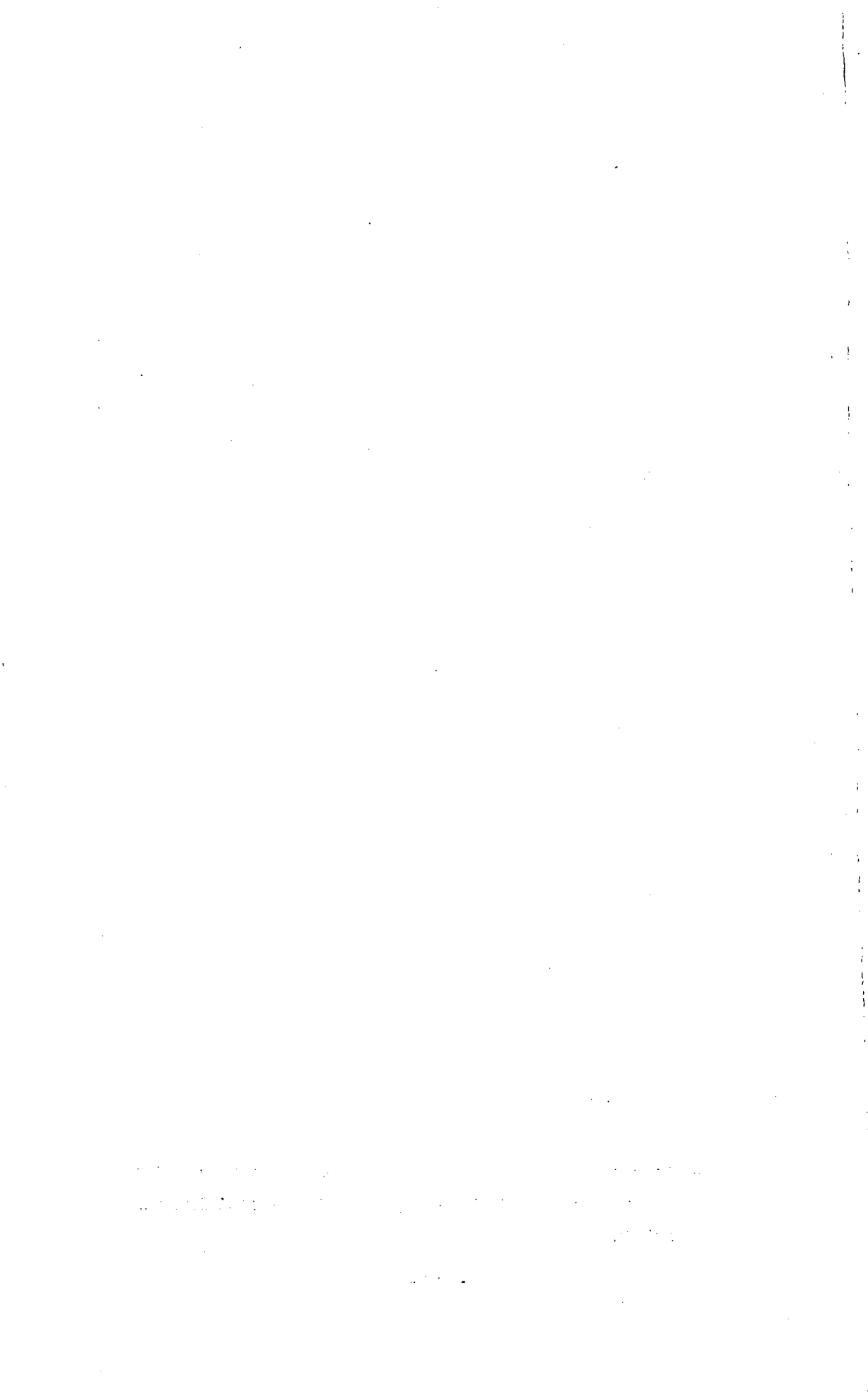
A N E X O

ARSENICO, FLUOR Y VANADIO en aguas de bebida

- Técnicas para corregir el exceso de los mismos.
- Cuadros
- Gráficos
- Bases para el diseño de Plantas Pilotos



— Con el propósito de no abrumar con cifras, en los cuadros, se dan sólo unos pocos valores significativos de los obtenidos en el desarrollo del trabajo.



CUADRO Nº 1

AGUA DEL POZO Nº 6 QUE INTEGRA LA RED DE ALIMENTACION
DEL ACUEDUCTO: NUEVE DE JULIO-CARLOS CASARES-PEHUAJO

Muestra de agua	Pozo Nº 6
pH	7,6
Arsénico	mg/l 0,30-0,40
Flúor	mg/l 3,50
Vanadio	mg/l 0,50
Alcalín. (CO ₃ Ca)	mg/l 530
Cloruros (Cl ⁻)	mg/l 64
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	mg/l 33
Dureza (CO ₃ Ca)	mg/l 48
Nitratos (NO ₃)	mg/l 4
Residuos	mg/l 835

CUADRO Nº 2

DOSIS VARIABLE DE CLORURO DE CALCIO Y CAL

ENSAYO	pH final	As resid. mg/l	F resid. mg/l	Alcalin. mg/l	cloruros mg/l	Dureza mg/l
Dosis: Cl₂Ca = 50 mg/l		cal = 1.000 mg/l				
I	11,60	0,02				
II	11,70	0,02				
Dosis: Cl₂Ca = 100 mg/l		cal = 1.000 mg/l				
I	10,90	0,012	2,50	410	126	28
II	11,25	0,016	2,70	315	133	12
Dosis: Cl₂Ca = 200 mg/l		cal = 1.000 mg/l				
I	10,80	0,008	2,50	350	189	
II	10,85	0,008	2,20	310	192	
Dosis: Cl₂Ca = 300 mg/l		cal = 1.000 mg/l				
I	11,20	0,006	2,40			
II	11,70	0,006	2,24			
Dosis: Cl₂Ca = 600 mg/l		cal = 1.000 mg/l				
I	11,00	0,004	2,00	180	420	200
II	11,05	0,004	2,10	185	420	200

ENSAYO	pH final	As resid. mg/l	F resid. mg/l	Alcalin. mg/l	cloruros mg/l	Dureza mg/l
Dosis: Cl ₂ Ca = 200 mg/l			cal = 800 mg/l			
I	10,60	0,08	2,68	320	182	20
II	10,60	0,08	2,50	310	185	10
Dosis: Cl ₂ Ca = 300 mg/l			cal = 800 mg/l			
I	10,70	0,06	2,50			
II	10,60	0,06	2,50			
Dosis: Cl ₂ Ca = 100 mg/l			cal = 600 mg/l			
I	9,65	0,22				
II	9,70	0,24				
Dosis: Cl ₂ Ca = 200 mg/l			cal = 600 mg/l			
I	9,80	0,14				
II	9,85	0,15				
Dosis: Cl ₂ Ca = 300 mg/l			cal = 600 mg/l			
I	10,30	0,06	2,70	250	—	22
II	10,40	0,04	2,56	240	—	22

CUADRO N° 3

DOSIS VARIABLE DE CLORURO FERRICO Y CAL

ENSAYO	pH final	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: Cl ₃ Fe = 10 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	10,80	0,07	0,20	vestigios
II	11,50	0,05	0,10	n/c
Dosis: Cl ₃ Fe = 20 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	10,70	0,048		vestigios
II	10,85	0,040		vestigios
Dosis: Cl ₃ Fe = 10 mg/l		cal = 800 mg/l		
I	10,20	0,14	0,15	0,10
II	10,10	0,11	0,10	0,20
Dosis: Cl ₃ Fe = 10 mg/l		cal = 600 mg/l		
I	9,30	0,25	0,20	0,25
II	9,50	0,14	0,20	0,20

CUADRO Nº 4
DOSIS VARIABLE DE CLORURO FERRICO

ENSAYO	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: Cl₃Fe = 60 mg/l			
I	0,04	n/c	n/c
II	0,02	n/c	0,10
Dosis: Cl₃Fe = 120 mg/l			
I	0,02	n/c	0,05
II	0,02	n/c	0,05
Dosis: cl₃Fe = 200 mg/l			
I	0,008	n/c	0,05
II	0,008	n/c	n/c

CUADRO Nº 5
DOSIS VARIABLE DE CLORURO FERRICO PREVIO AJUSTE DE pH

ENSAYO	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: Cl₃Fe = 20 mg/l.			
I	0,06	n/c	0,10
II	0,04	n/c	0,08
Dosis: Cl₃Fe = 40 mg/l			
I	0,02	n/c	0,05
II	0,04	n/c	0,10
Dosis: Cl₃Fe = 60 mg/l			
I	0,02	n/c	n/c
II	0,02	n/c	0,05

CUADRO Nº 6
DOSIS VARIABLE DE SULFATO FERROSO Y FIJA DE CAL

ENSAYO	pH Final	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: SO₄Fe = 5 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	11,60	0,07	—	0,05
II	11,55	0,07	—	0,05

ENSAYO	pH Final	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: SO₄Fe = 10 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	10,80	0,008	n/c	vestigios
II	10,50	0,06	0,20	vestigios
Dosis: SO₄Fe = 20 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	10,80	0,08	0,10	vestigios
II	10,60	0,04	0,15	vestigios
Dosis: SO₄Fe = 40 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	11,15	0,008	vestigios	n/c
II	11,10	0,008	vestigios	n/c
Dosis: SO₄Fe = 60 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	11,15	0,008	n/c	n/c
II	11,05	0,008	n/c	n/c
Dosis: SO₄Fe = 100 mg/l		cal = 1.000 mg/l		
I	11,15	0,008	n/c	n/c
II	11,15	0,008	n/c	n/c

CUADRO Nº 7

DOSIS VARIABLE DE SULFATO FERROSO, CON EXCESO DE CLORO Y FIJA DE CAL

ENSAYO	pH Final	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: SO₄Fe = 40 mg/l		Cal = 250 mg/l y cloro		
I	9,20	0,04	n/c	0,75
II	9,40	0,04	n/c	0,85
Dosis: SO₄Fe = 80 mg/l		Cal = 250 mg/l y cloro		
I	9,20	0,04	n/c	1,40
II	9,30	0,04	n/c	1,20
Dosis: SO₄Fe = 120 mg/l		cal = 250 mg/l y cloro		
I	9,40	0,04	n/c	0,80
II	9,30	0,04	n/c	1,25
Dosis: SO₄Fe = 160 mg/l		cal = 250 mg/l y cloro		
I	9,15	0,04	n/c	1,14
II	9,20	0,02	n/c	1,15

CUADRO Nº 8

DOSIS VARIABLE DE SULFATO FERROSO Y CLORO EN EXCESO

ENSAYO	pH Final	As residual mg/l	V residual mg/l	Fe residual mg/l
Dosis: $\text{SO}_4\text{Fe} = 120$ mg/l		cloro		
I	7,70	0,02	n/c	0,25
II	7,60	0,02	n/c	0,15
Dosis: $\text{SO}_4\text{Fe} = 160$ mg/l		cloro		
I	7,10	0,01	n/c	0,15
II	7,50	0,01	n/c	0,35
Dosis: $\text{SO}_4\text{Fe} = 200$ mg/l		cloro		
I	7,00	0,005	n/c	0,10
II	7,45	0,005	n/c	0,50
Dosis: $\text{SO}_4\text{Fe} = 250$ mg/l		cloro		
I	6,80	0,002	n/c	0,07
II	7,25	0,002	n/c	0,50
Dosis: $\text{SO}_4\text{Fe} = 300$ mg/l		cloro		
I	6,00	0,002	n/c	0,09
II	7,10	0,002	n/c	1,00

CUADRO Nº 9

DOSIS VARIABLE DE SULFATO DE ALUMINIO

ENSAYO	As residual mg/l	F inicial mg/l	F residual mg/l	So ₄ mg/l
Dosis: $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 = 100$ mg/l				
I	0,24	2,50	1,60	
II	0,24	2,50	1,55	
III	0,24	3,60	2,80	
IV	0,20	3,60	2,80	
Dosis: $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 = 250$ mg/l				
I	0,12	3,60	2,45	
II	0,11	3,60	2,40	
Dosis: $(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2 = 300$ mg/l				
I	0,08	2,50	1,45	
II	0,08	2,50	1,15	
III	0,10	3,60	2,20	
IV	0,06	3,60	2,45	

ENSAYO	As residual	F inicial mg/l	F residual mg/l	SO ₄ mg/l
Dosis: (SO ₄) ₃ Al ₂ = 400 mg/l				
I	0,002	2,50	1,00	—
II	0,060	2,50	1,10	225
III	0,002	3,60	1,70	230
IV	0,050	3,60	1,70	242
Dosis: (SO ₄) ₃ Al ₂ = 500 mg/l				
I	0,020	2,50	0,85	248
II	0,030	2,50	1,02	290
III	0,024	3,60	1,40	280
IV	0,012	3,60	1,60	—
Dosis: (SO ₄) ₃ Al ₃ = 600 mg/l				
I	0,02	2,50	0,85	290
II	0,015	2,50	0,75	290
III	0,02	3,60	1,28	333
IV	0,018	3,60	1,28	293
Dosis: (SO ₄) ₃ Al ₂ = 800 mg/l				
I	0,010	2,50	0,45	414
II	0,010	2,50	0,45	—
III	0,008	3,60	0,80	420
IV	0,008	3,60	0,75	—

CUADRO Nº 10

DOSIS FIJA DE CLORURO FERRICO Y VARIABLE DE SULFATO DE ALUMINIO

ENSAYO	As residual	F inicial mg/l	F residual mg/l	V residual mg/l
Dosis: Cl ₃ Fe = 20 mg/l		(SO ₄) ₃ Al ₂ = 100 mg/l		
I	0,05	3,60	2,80	0,05
II	0,05	3,60	2,80	0,05
Dosis: Cl ₃ Fe = 20 mg/l		(SO ₄) ₃ Al ₂ = 200 mg/l		
I	0,03	3,60	2,40	0,05
II	0,03	3,60	2,45	0,05
Dosis: Cl ₃ Fe = 20 mg/l		(SO ₄) ₃ Al ₂ = 300 mg/l		
I	0,008	3,60	1,90	0,05
II	0,032	3,60	2,25	0,05

**A. PLANTA PILOTO PARA ELIMINAR EXCESOS MODERADOS DE ARSE-
NICO Y FLUOR EN BASE AL USO DE SULFATO DE ALUMINIO.**

Será necesario disponer de:

1. Electrobomba de suministro de agua a tratar. Capacidad 1,50 - 2,00 m³/h.
2. Tanques de 100 lts, para disolución de (SO₄)₃Al₂, con falso fondo o canasto de disolución provisto de agitador y con sistema de inyección automática.
3. Tanque con dispersor mecánico o hidráulico, que asegure una buena mezcla del coagulante durante aproximadamente 30 a 40 segundos.
4. Cámara de 1 m³ de capacidad, con agitador lento para acondicionamiento del floculante.
5. Decantador rectangular o circular con sistema de eliminación de lodos. Capacidad 8 m³.
6. Filtro de arena, granulometría 0,40 - 0,60 mm para el caudal mencionado y velocidad de pasaje de 3 a 4 m³/h/m².
7. Tanques de 100 lts. para suspensión de cal, con agitador y sistema de inyección.
8. Tanque o cisterna para depósito del agua tratada, con capacidad para almacenar la producción de un día de operación.

**B. PLANTA PILOTO PARA CONCENTRACIONES ELEVADAS DE FLUOR,
ARSENICO Y VANADIO.**

(Tratamiento combinado).

Para esta planta piloto será necesario disponer de:

1. Electrobomba de suministro de agua a tratar. Capacidad 1,50 a 2,00 m³/h.
2. Filtro de hueso granulado, con colector de fondo. Diámetro 1,10 m, altura del manto 0,90 a 1,20 m y cámara de expansión del 50 % del espesor del manto.
3. Tres tanques de almacenaje para soda cáustica.
 - a) Un tanque capacidad útil 2 m³ para soda concentrada.
 - b) Un tanque capacidad útil 1 m³ para soda 10 %.
 - c) Un tanque capacidad útil 1 m³ para soda 1 % o un eyector Venturi que permita diluir convenientemente la solución al 1 %.
4. Un cilindro de anhídrido carbónico y un tanque saturador de 100 lts. de capacidad para neutralizar los restos de soda.

El agua tratada en la columna de hueso u otra con bajo exceso de flúor o sin él, en las que se requiere la corrección del As y V, pueden someterse a una de las siguientes alternativas:

ALTERNATIVA I

Se necesita:

1. Cuatro tanques de 100 lts, para ser usados, dos de ellos con solución de (SO₄)₃Al₂ y los dos restantes alternativamente con solución de Cl₃Fe y SO₄Fe, con canasto de disolución o falso fondo y agitador. Para esta última sal, será necesario disponer de un quinto tanque de 100 lts. para solución de hipoclorito de sodio u otro clorogeno.
2. Tanque de 100 lts. para solución de HCl o SO₄H₂ para cuando se necesite bajar el pH.

3. Tanque de 100 lts. para suspensión de cal, con agitador y sistema de inyección.
4. Tanque provisto de dispersor que permita una rápida mezcla del o de los coagulantes durante $\frac{1}{2}$ a 5 minutos.
5. Cámara de acondicionamiento que prolongue el contacto durante 30 a 60 minutos.
6. Tanque sedimentador de 5 m³.
7. Filtro de arena de 0.40 - 0.60 mm de granulometría, para filtrar 2 m³/h a velocidad de 3 a 4 m³/h/m².
8. Tanque o cisterna para depósito del agua tratada. Capacidad: un día de operación.

ALTERNATIVA II

En esta alternativa se extrae el As y V mediante una columna de virutas de hierro.

Se necesita:

1. Tanque de 100 lts. para solución de HCl.
2. Un equipo con virutas de hierro, sustentado por un falso fondo.
 altura del equipo = 1,50 m a 1,80 m.
 base del equipo = 0,60 m × 0,50 m.
 altura del manto de viruta = 0,90 m a 1,20 m.
3. Tanque de 100 lts. para solución de los coadyuvantes a ensayar, con agitador.
4. Tanque de 100 lts. para solución de (SO₄)₂Al₂ con canasto y agitador de la solución.
5. Tanque de 100 lts. con dispositivo dispersor continuo para lechada de cal.
6. Tanque de 100 lts. para solución de HCl.
7. Tanque con dispersor que permita una permanencia de 2 a 5 minutos.
8. Cámara de acondicionamiento que asegure un tiempo de contacto de 30 a 60 minutos.
9. Tanque decantador capacidad 4 a 8 m³.
10. Filtro de arena, granulometría 0.40 a 0.60 mm, manto de 0.60 m de espesor para filtrar 2 m³/h a velocidad de 3 a 4 m³/h/m².
11. Tanque o cisterna para depósito del agua tratada con capacidad para 24 horas.

Lo detallado señala solamente los rubros bases necesarios para ambas plantas piloto y sus alternativas.

A estos equipos, hay que agregar todas las cañerías, válvulas, medidores, sistema de dosaje, mezcladores, desagües, etcétera, necesarios para completar la instalación. Además, se deberá contemplar todo lo referente a los equipos materiales y drogas para realizar los análisis de control del proceso en cada uno de sus pasos y variantes.

Para todo esto, hace falta disponer de una habitación con mesadas, luz, agua, gas y desagües. Además, deberá tenerse en cuenta la fuente de energía para mover todos los equipos mecánicos de la planta y del laboratorio.

GRÁFICO Nº1

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE DE CLORURO DE CALCIO Y CAL

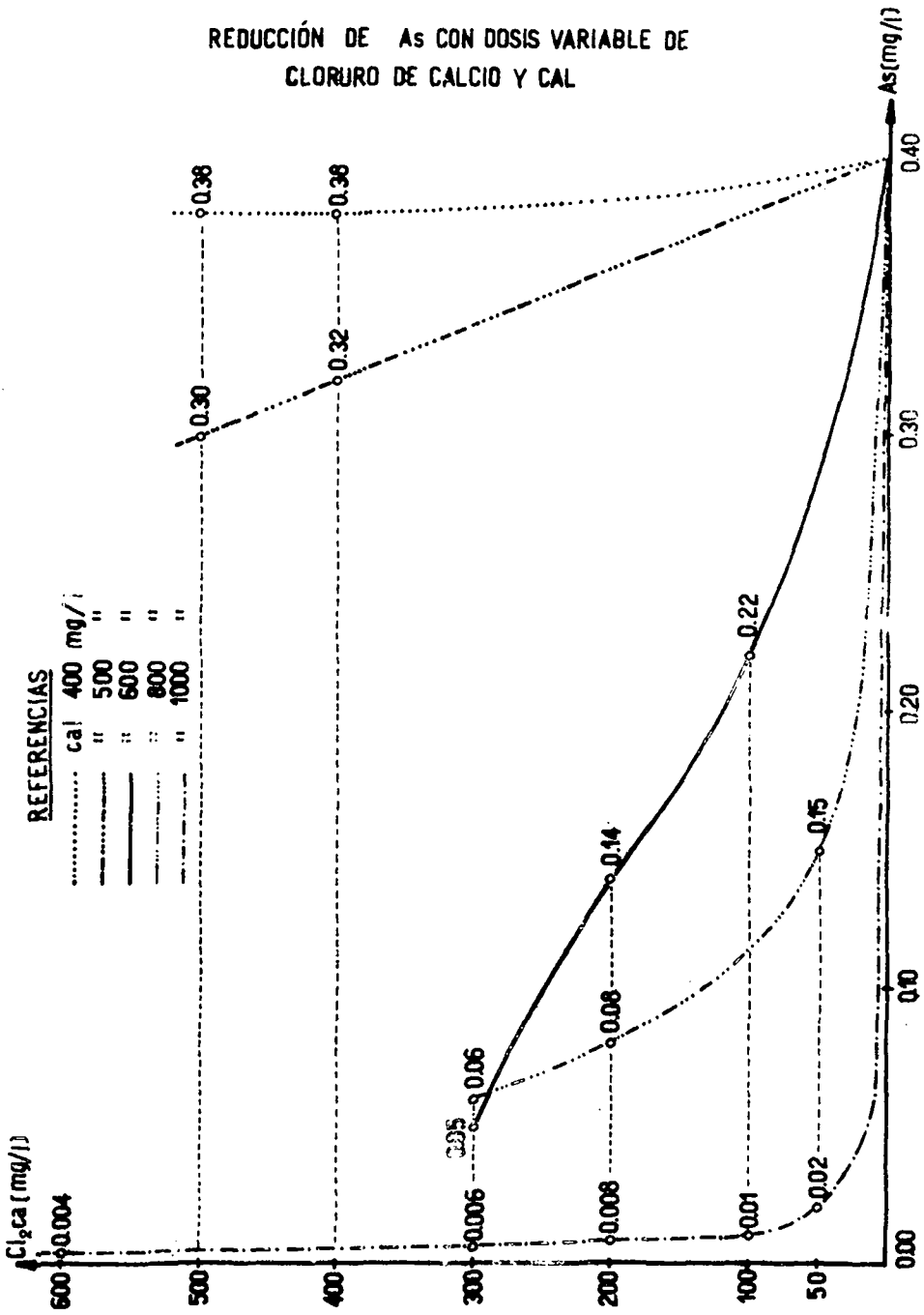


GRAFICO N°2

REDUCCION DE As CON DOSIS 10 mg/l
Cl₂Fe y CAL VARIABLE

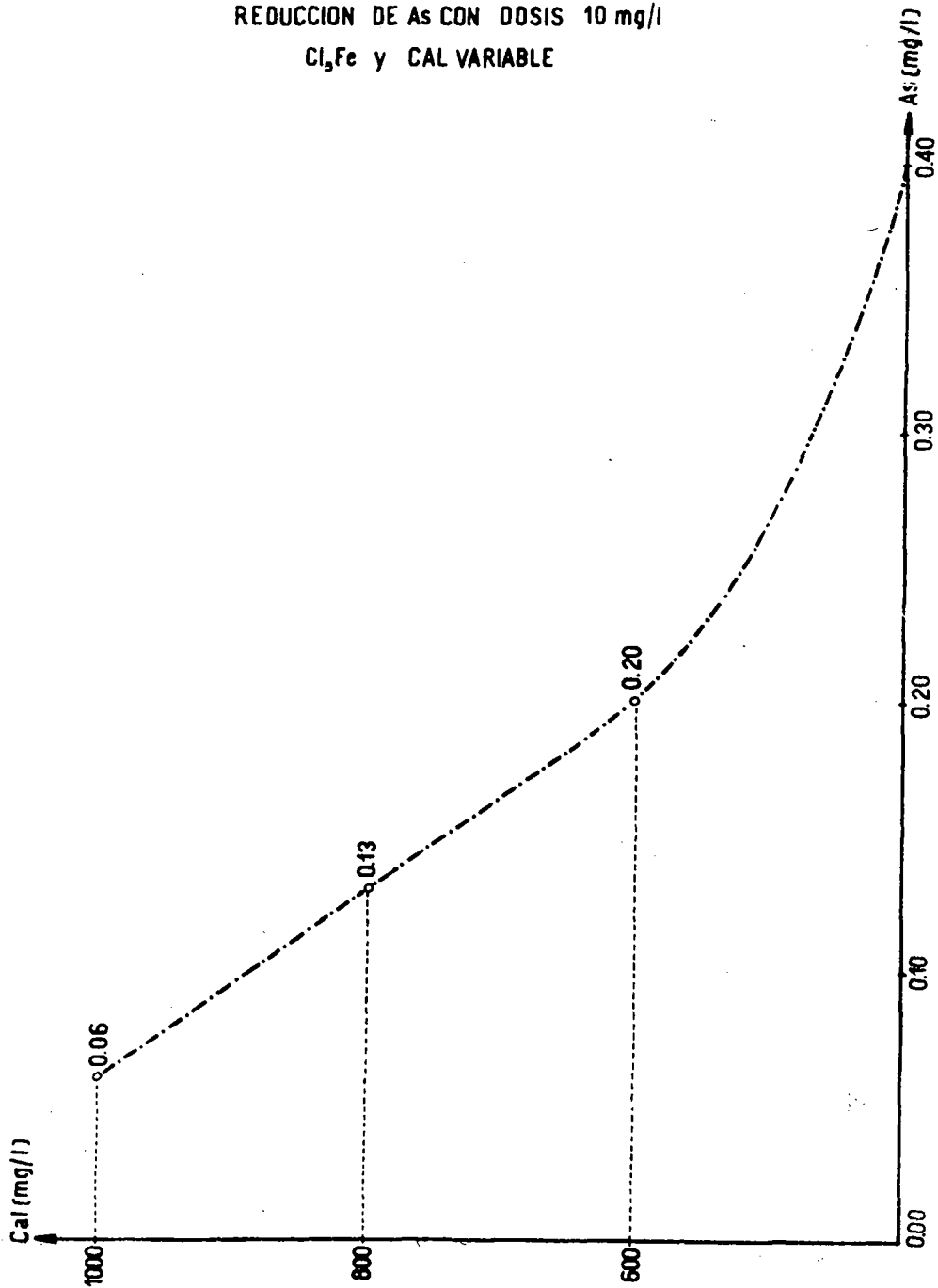


GRÁFICO N°3

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE
DE CLORURO FÉRRICO

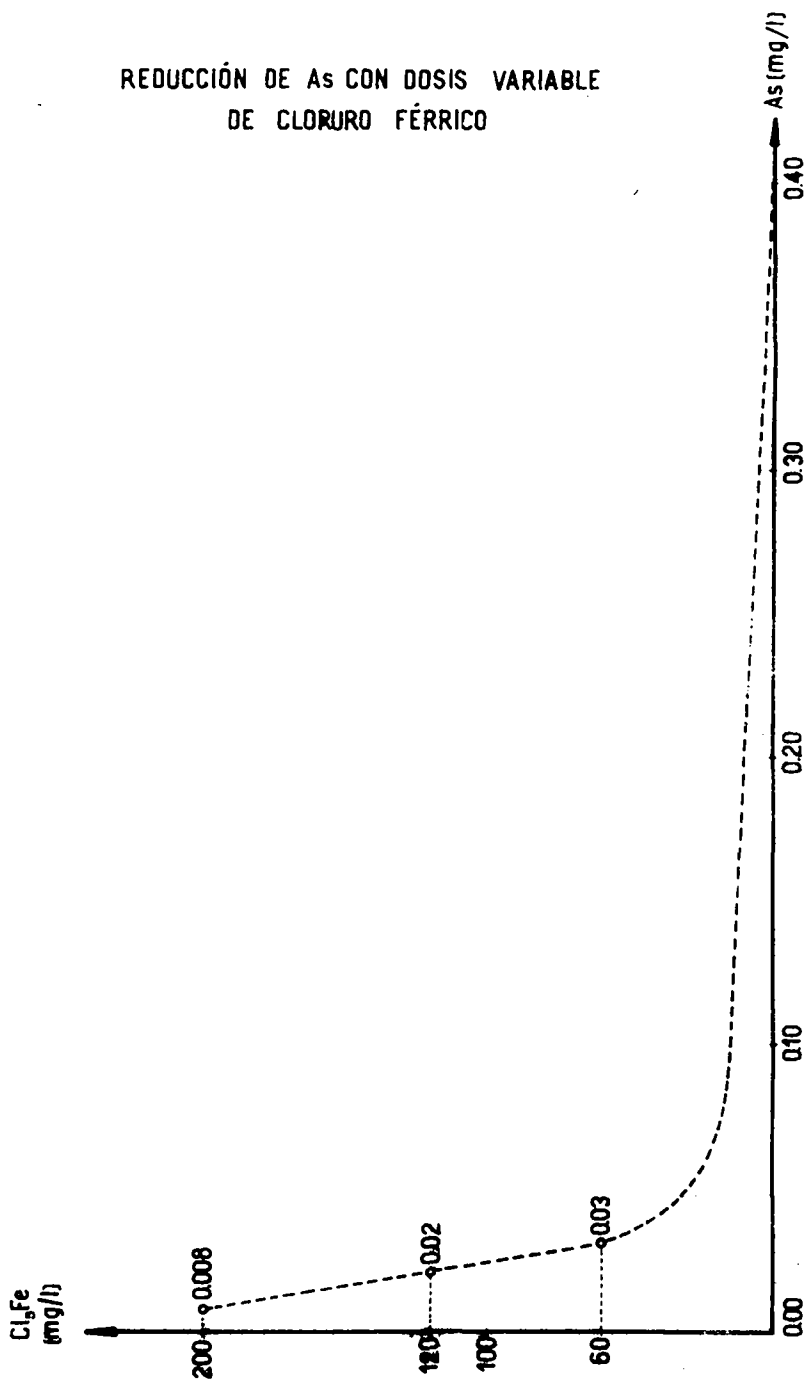


GRÁFICO Nº 4

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE DE
CLORURO FÉRRICO PREVIÓ AJUSTE DE pH

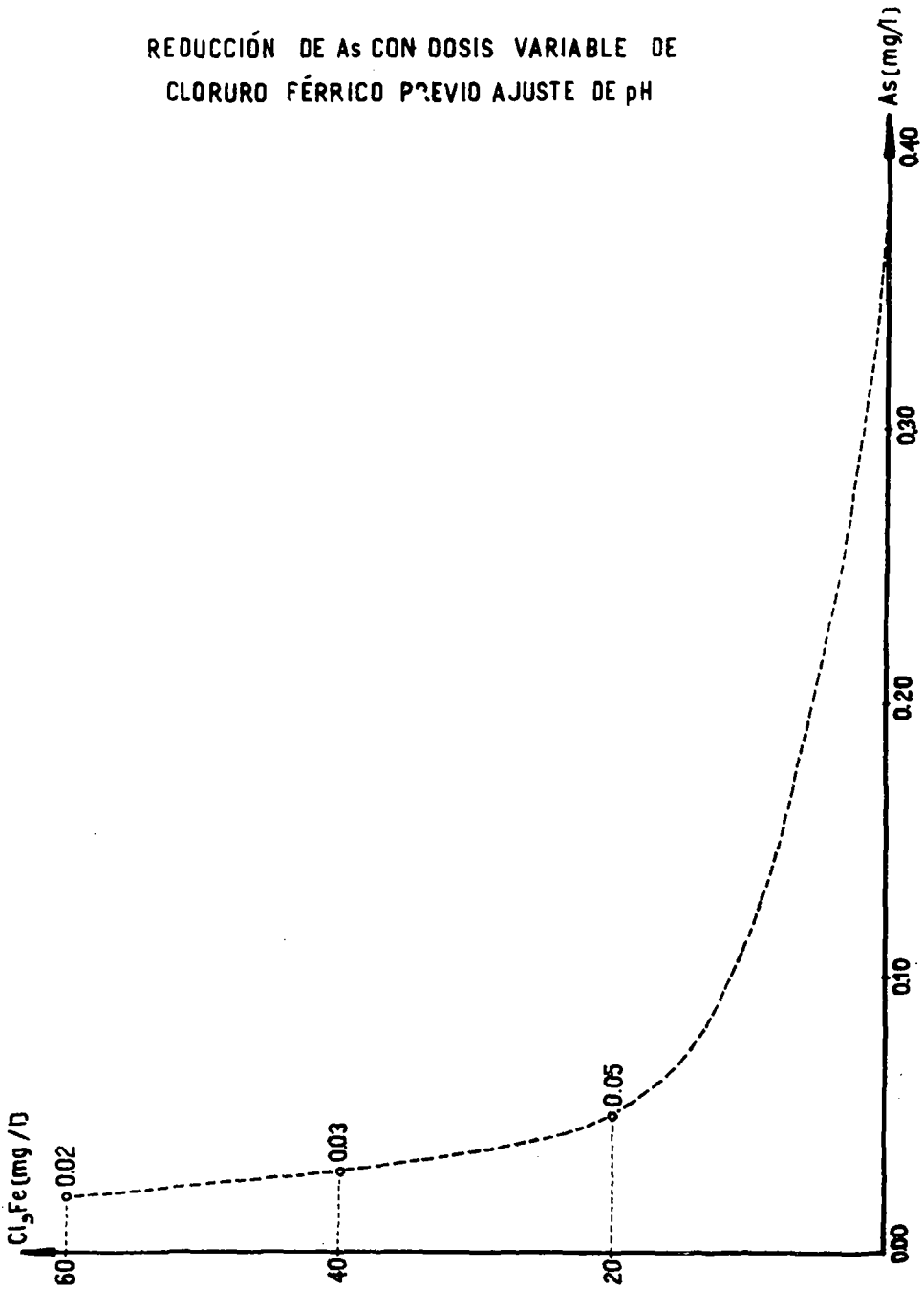


GRÁFICO Nº 5

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE DE SULFATO
FERROSO CON 1000 (mg/l) CAL

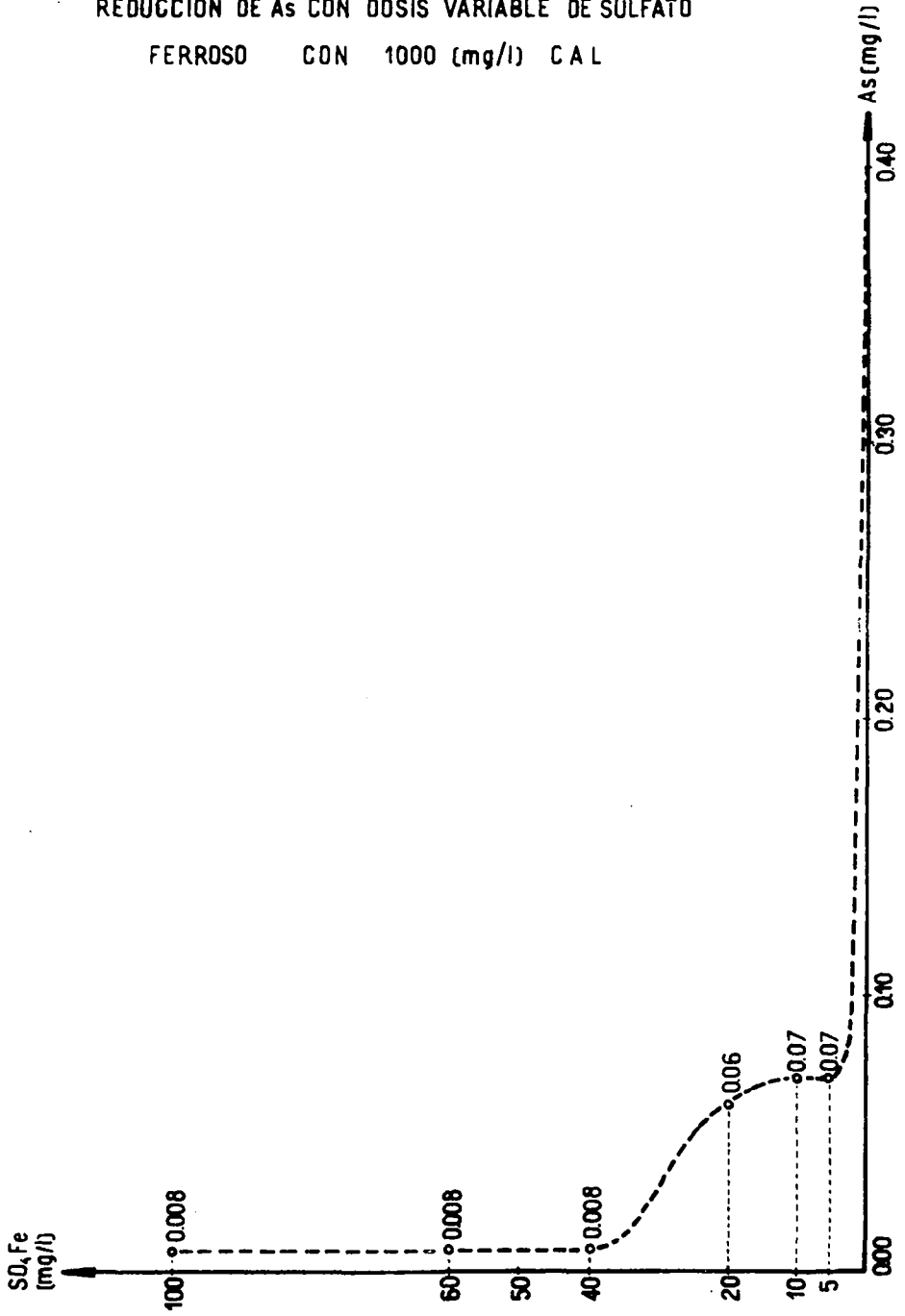


GRÁFICO Nº 6

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE DE SULFATO
FERROSO Y CLORO EN EXCESO

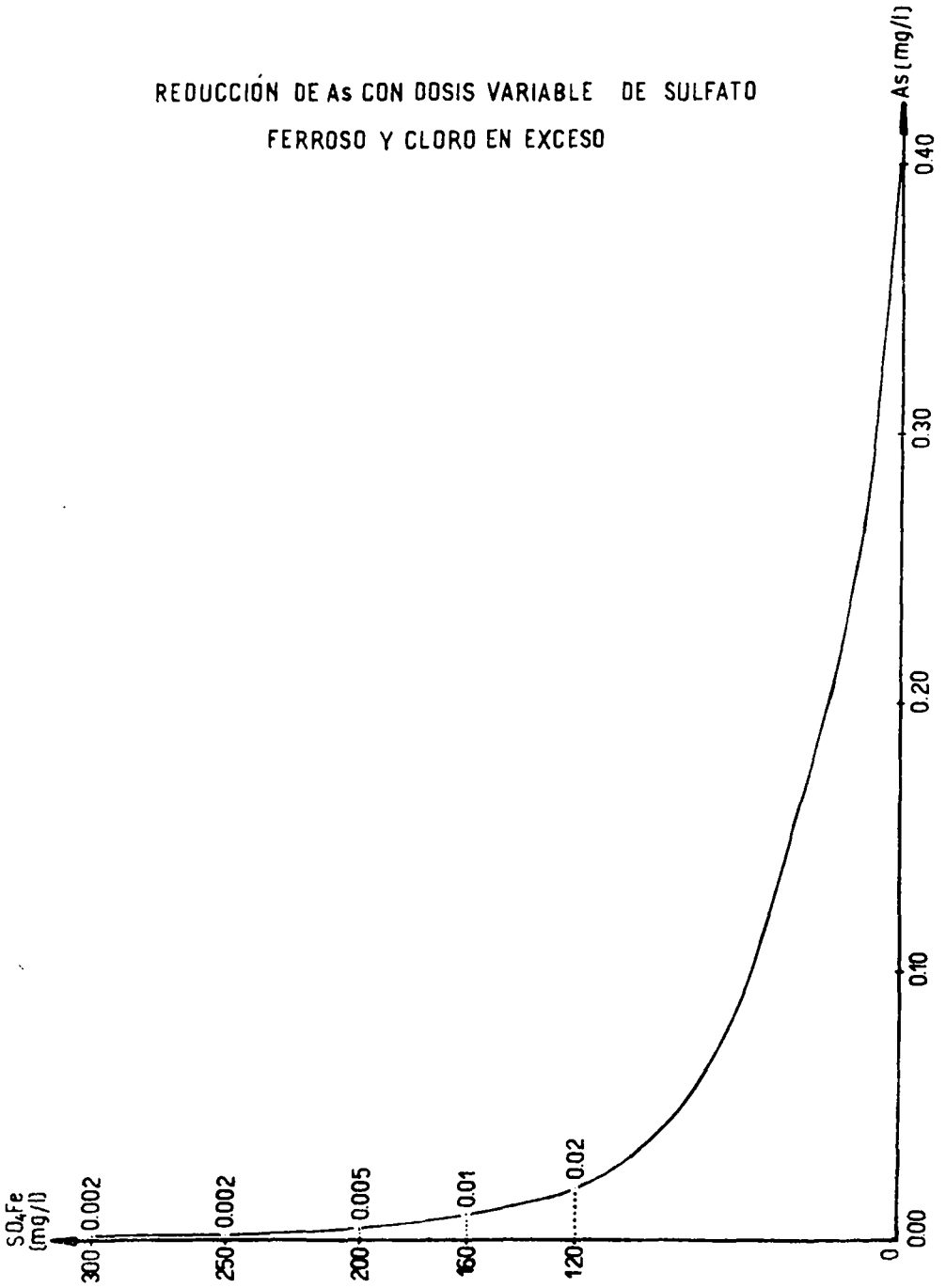


GRAFICO N° 7

REDUCCIÓN DE As CON DOSIS VARIABLE DE
SULFATO DE ALUMINIO

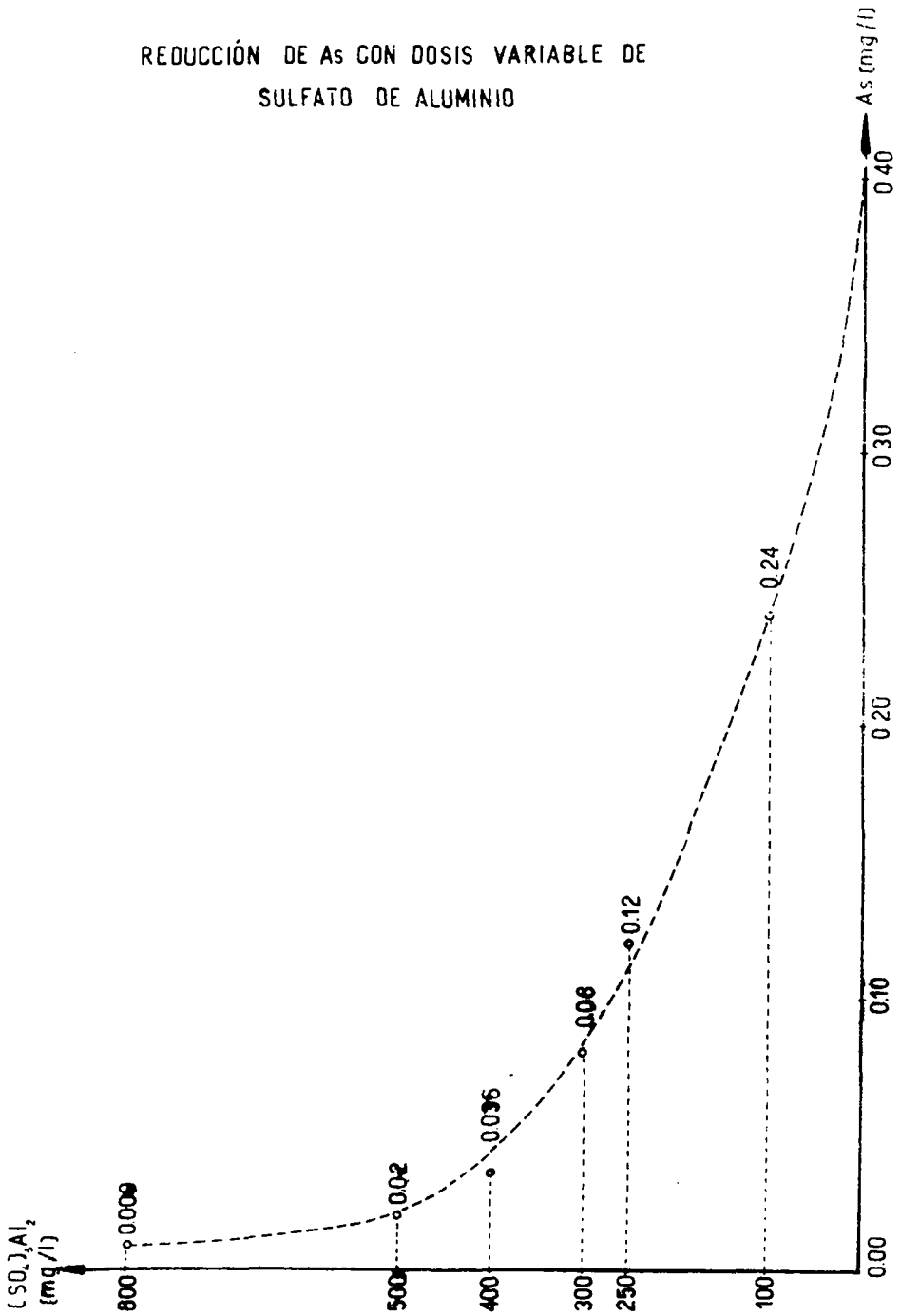
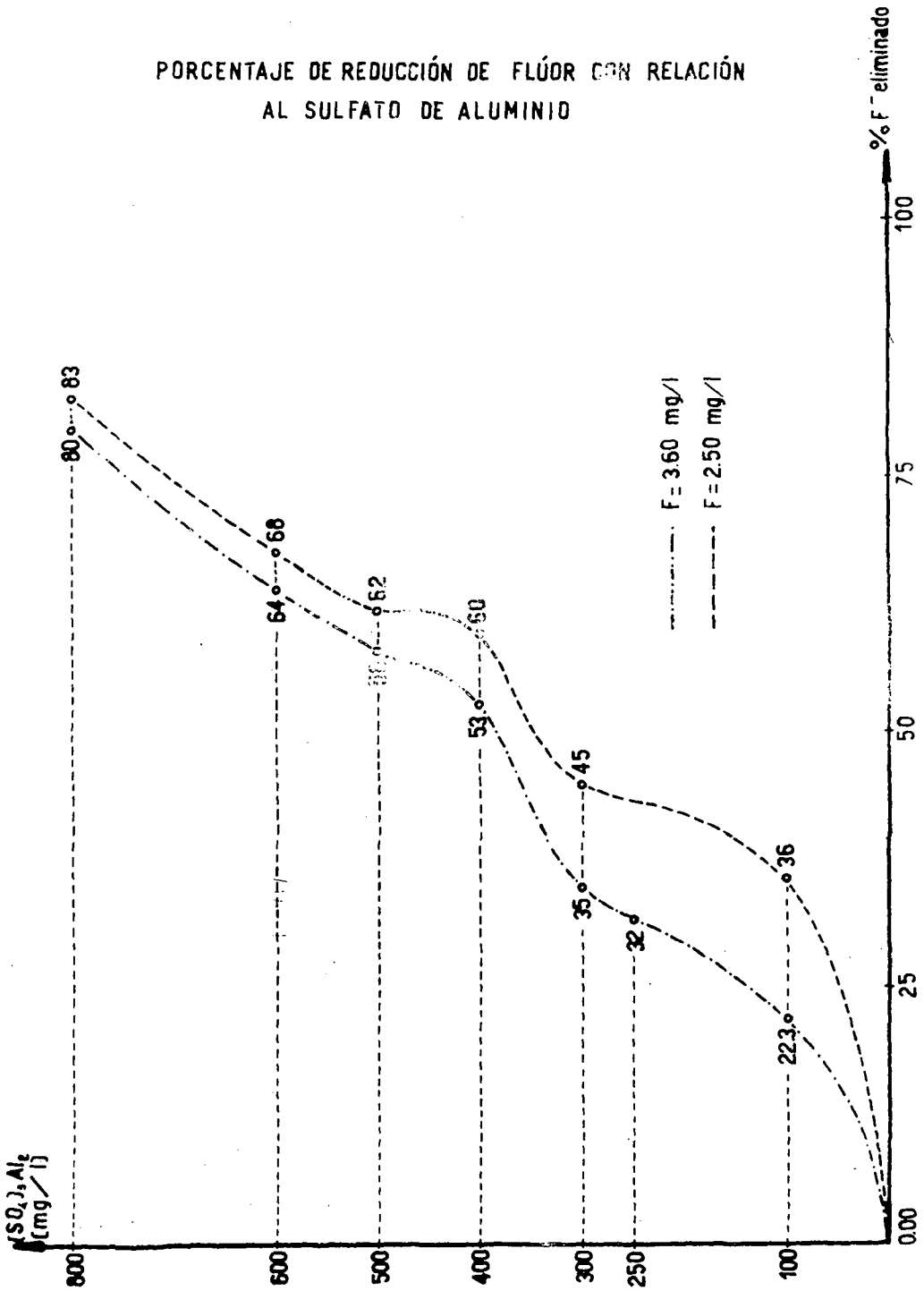


GRÁFICO Nº 8

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE FLÚOR CON RELACIÓN
AL SULFATO DE ALUMINIO



... ..
 200000

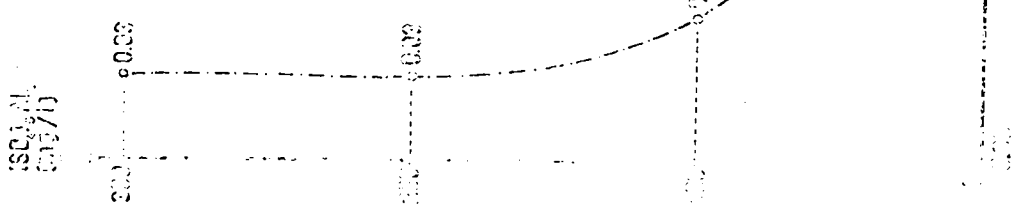
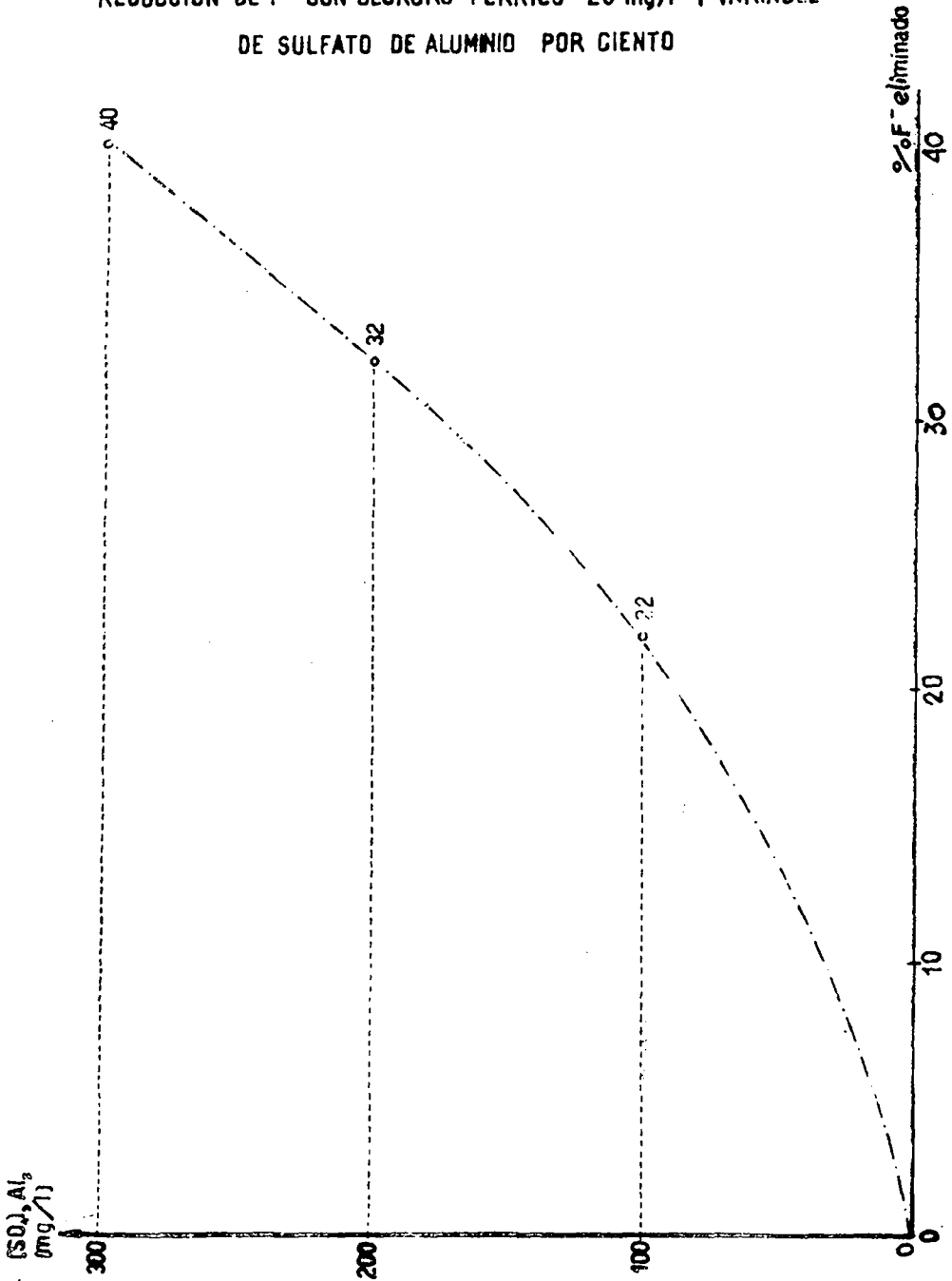


GRÁFICO nº 10

REDUCCION DE F^- CON CLORURO FÉRRICO 20 mg/l Y VARIABLE
DE SULFATO DE ALUMINIO POR CIENTO



Se terminó de imprimir en la segunda
quincena de febrero de 1977, en la Direc-
ción de Impresiones del Estado y Boletín
Oficial de la Provincia de Buenos Aires.
República Argentina