



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

✓CBI

129833

//
**MODELACION MATEMATICA DE LA CINETICA
DE LIXIVIACION DE PLOMO A PARTIR DE
UN CONCENTRADO DE GALENA
CON CLORURO FERRICO //**

TESIS QUE PRESENTA

✓
MARIBEL CANO HERNANDEZ

✓
**PARA LA OBTENCION DEL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA QUIMICA**

✓1993

U. A. M. METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Michoacán y La Purísima, Col. Vicentina, Iztapalapa, D.F. C.P. 09340. Tel.: 686-03-22 TELEFAX: (5) 686-89-99 TELEX: UAMME 176496

UNIDAD IZTAPALAPA

Av. Michoacán y La Purísima, Col. Vicentina, Iztapalapa, D.F. C.P. 09340. Tel.: 686-03-22 TELEFAX: (5) 686-89-99 TELEX: UAMME 176496

CON CARIÑO A TODA MI FAMILIA

Y EN ESPECIAL A MI MADRE

129833

**ESTE TRABAJO SE REALIZÓ GRACIAS AL APOYO OTORGADO POR
CONDUMEX S.A. DE C.V., CONACYT, Y A LA DIRECCION DE LA DRA.
GRETCHEN LAPIDUS LAVINE, EN LA UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA,
UNIDAD IZTAPALAPA.**

R E S U M E N

Se presenta la modelación matemática de la cinética de lixiviación de plomo, a partir de un concentrado de galena, con cloruro férrico. El modelo se basa en el concepto de núcleo decreciente, en el estado transitorio para una partícula de mineral considerando la formación, difusión y equilibrio de clorocomplejos de hierro y plomo. Se incluye como principal restricción la solubilidad del $PbCl_2$. La validez del planteamiento teórico se comprueba con datos experimentales, que abarcan rangos amplios de temperatura, concentración de cloruro férrico, de ácido clorhídrico, de cloruro de sodio y porcentaje de sólidos. Se obtiene una corroboración satisfactoria del modelo a las diferentes condiciones del sistema, el cual predice la formación de $PbCl_2$, en la frontera de reacción, siendo éste el principal factor limitante en la extracción de plomo. La energía de activación encontrada fue de 61.13 KJ/mol, para una concentración de 0.05M de $FeCl_3$ y pH=1.

INDICE

	Página
<u>RESUMEN</u>	
1.- <u>INTRODUCCION</u>	(1)
1.1.- Objetivo(5)	
2.- <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	(6)
2.1 Lixiviación del Plomo	(6)
2.3 Parámetros Estudiados	(15)
2.4 Modelo de Núcleo Decreciente	(17)
3.- <u>DESARROLLO TEORICO</u>	(21)
4.- <u>PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL</u>	(26)
4.1 Material y Equipo	(26)
4.2 Reactivos	(26)
4.3 Procedimiento	(26)
5.- <u>RESULTADOS Y DISCUSIONES</u>	(30)
5.1 Predicciones del modelo	(30)
5.2 Efecto de los parámetros	(33)
6.- <u>CONCLUSIONES</u>	(41)
<u>NOMENCLATURA</u>	(43)
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	(44)
<u>APENDICE A :</u>	Simulaciones de las Corridas Experimentales (49)
<u>APENDICE B :</u>	B1.- Corrección de las constantes de equilibrio. (126)
	B2.- Porosidad y Difusividad Efectiva (131)
<u>APENDICE C :</u>	C1.- Adimensionamiento de la ecuación de difusión (132)
	C2.- Método Numérico (134)
<u>APENDICE D :</u>	Condiciones Empleadas para el Análisis de Plomo (136)

1.- INTRODUCCION

La producción de plomo se obtiene esencialmente a partir de concentrados de galena (PbS). En general existen tres procesos de extracción:

- Procesos Pirometalúrgicos
- Electrodeposición Directa
- Procesos Hidrometalúrgicos

En la actualidad se emplean casi exclusivamente los procesos pirometalúrgicos en la producción de plomo, mismos que se basan en la oxidación de concentrados de galena. Se utilizan hornos de sinterización, donde se elimina la mayor parte de azufre como anhídrido sulfuroso. También, se desprende monóxido de carbono y polvos de plomo, lo que trae como consecuencia la contaminación del medio ambiente y un elevado consumo de energéticos.

Es por ello que se han buscado nuevas alternativas, como la electrodeposición directa, que es la recuperación de valores metálicos a partir de electrólisis, utilizando como ánodo, polvos de concentrado de galena. Sin embargo, la mayor dificultad que se tiene en este proceso, es la preparación de electrodos y su elevado costo, debido a la utilización de metales nobles (Subhasis et al., 1989). Además, se tiene poca experiencia en la adición de aditivos y reactivos, a parte de los utilizados en la refinación electrolítica de plomo, lo que conduce a obtener depósitos densos de plomo, bajando así la eficiencia del proceso (Peters, 1992).

La vía que supera los problemas antes mencionados es la hidrometalurgia, que se basa en la disolución de los metales en soluciones acuosas, a bajas temperaturas. Se utilizan agentes oxidantes que oxidan al metal o metales presentes en el mineral. Si los metales deseados son poco solubles en el medio lixivante, se añade a éste, un agente acomplejante cuya función es de

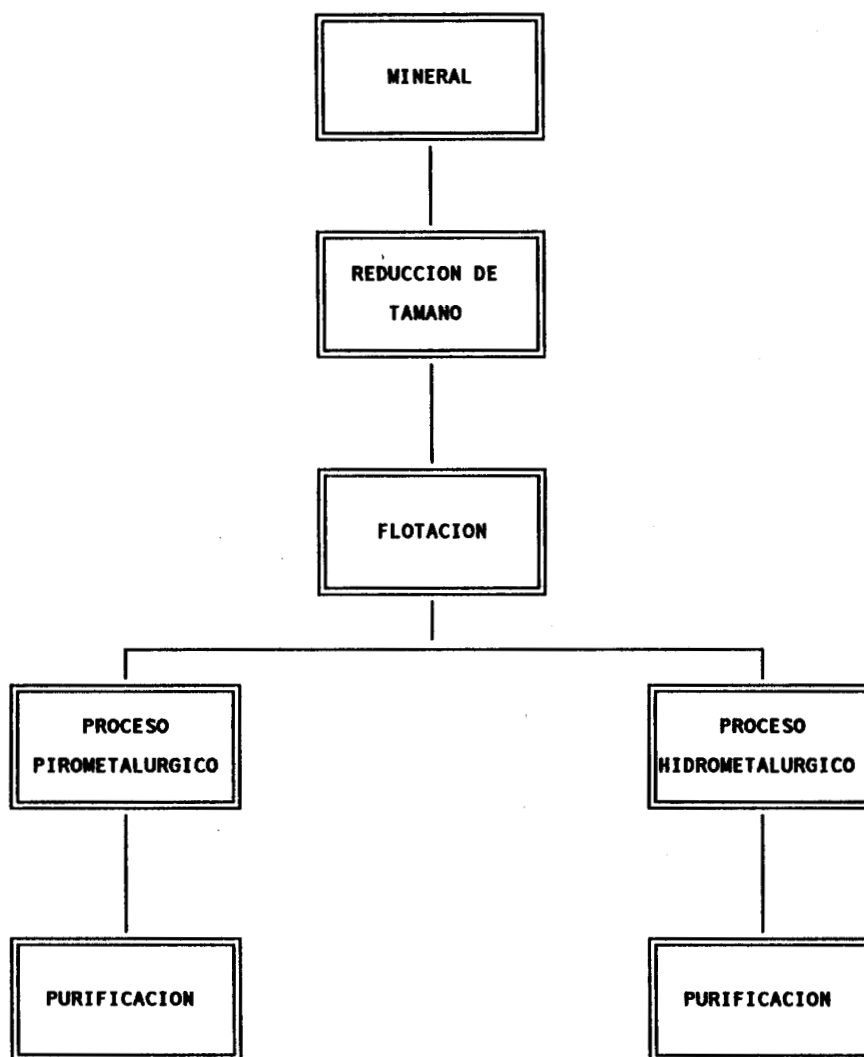
incrementar la solubilidad del metal deseado. Posteriormente la solución lixivante, cargada de metales, pasa a la etapa de recuperación, (ver Figuras 1 y 2).

La formación de azufre elemental o sulfato soluble, evita emisiones al aire de SO_2 , óxido nitroso, y polvos de Pb. Otra ventaja en este tipo de procesos es la adaptación para alimentaciones de baja ley y de minerales complejos. La piritita presente en algunos minerales frecuentemente es inerte en soluciones de sulfato férrico y cloruro férrico (Peters 1992), y en otros su adición promueve la extracción de plomo (Kunishige y Habashi, 1984). Existe la viabilidad para la implementación en la pequeña industria y a grande escala (Dutrizac 1992). Las impurezas tales como Ag, Cu, Fe, Zn, As, pueden removerse o quedarse en el residuo al trabajar a bajas temperaturas, (Haver, 1976).

La cinética de lixiviación de plomo a partir de galena con FeCl_3 , ha sido adaptada al modelo de núcleo decreciente en estado estacionario, citado por Levenspiel (1972), para diferentes condiciones del sistema. Se han presentado como posibles etapas que controlan la lixiviación, a la difusión del ión férrico, ó del cloro libre, a través de la capa de azufre, la reacción química en la interfase de la reacción sólido-líquido, o bien el control mixto de algunas de las resistencias anteriores.

Se ha detectado como posible etapa controlante también la difusión del producto PbCl_2 , observando que la presencia de cloruros favorece la solubilidad y así incrementa la extracción. Sin embargo en los modelos propuestos, sólo se consideran la reacción química, o bien la difusión de Fe^{3+} en la cinética de reacción, sin incorporar el efecto de solubilidad en la modelación. Debido a ésta deficiencia, el modelo tradicional de núcleo decreciente no ha sido capaz de describir y, consecuentemente, predecir el comportamiento experimental observado a nivel laboratorio. Para simular y optimizar el proceso con parámetros

industriales, con altos contenidos de sólidos y concentraciones cercanas a la estequiométrica del agente oxidante, sería deseable contar con un modelo que considere los fenómenos químicos que intervienen en el sistema, especialmente el de límite de solubilidad.



**Figura 1. Digrama de Flujo del Proceso
Pirometalurgico e Hidrometalurgico**

1.1.- OBJETIVO

Modelación matemática de la cinética de lixiviación de plomo a partir de un concentrado de galena, con cloruro férrico, tomando como base el modelo de núcleo decreciente en estado transitorio, y considerando la formación y solubilidad de los clorocomplejos de hierro y plomo.

Estudio del efecto de la solubilidad de los productos en la cinética de extracción.

Estudio del efecto de concentración del cloruro férrico, cloruro de sodio, pH, temperatura y concentración de sólidos en solución.

Corroboración del modelo con datos experimentales.

2.- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1.-LIXIVIACION DE PLOMO

La cinética de oxidación y no oxidación de galena ha sido estudiada extensamente en la literatura. Cuando la relación de H^+ a Fe^{3+} es alta (4 a 5), se tiene una reacción no oxidativa y cuando la proporción es menor, la cinética está gobernada por un proceso oxidativo (Kim et al., 1986). Awakura et al. (1980), presentan una investigación de la cinética de disolución de galena en una solución de HCl y $HClO_4$, siendo la reacción química en la superficie de la galena, la que controla la velocidad de disolución. Nuñez (1988) estudia la cinética de lixiviación no oxidativa de galena empleando HBr , HCl , $HClO_4$ encontrando un orden de reacción de 3/2, 1, y 2 con energías de activación de 66.3 KJ/mol, 64.4 KJ/mol, y 71.5 KJ/mol respectivamente. Sin embargo con este tipo de reactivos se forma H_2S , el cual tiene que ser removido o transformado a azufre elemental. La lixiviación no oxidativa trae como consecuencia la implementación de procesos adicionales, por lo que los hace poco atractivos.

Se encuentran diferentes trabajos que versan sobre la lixiviación de plomo a partir de galena (PbS) utilizando diversos métodos de oxidación, tales como presurización con oxígeno en presencia de HCl y H_2SO_4 . Los productos insolubles como el $PbCl_2$ y $PbSO_4$ pasan a una solución de acetato de amonio, (Kunishige y Habashi, 1984). Sin embargo el empleo de autoclaves y agentes complejantes de tipo orgánico, elevan el costo del proceso hidrometalúrgico. Fuerstenau et al. (1987) investigaron la cinética de lixiviación con $Fe(NO_3)_3$ para diferentes concentraciones de éste, tamaño de partícula y temperatura. El control por reacción es la etapa limitante en la lixiviación y el orden de reacción es de 1/2. También se forma una capa de azufre alrededor de las partículas. Aparentemente no se tienen problemas de solubilidad de los productos, es posible que este sistema ofrezca otra buena

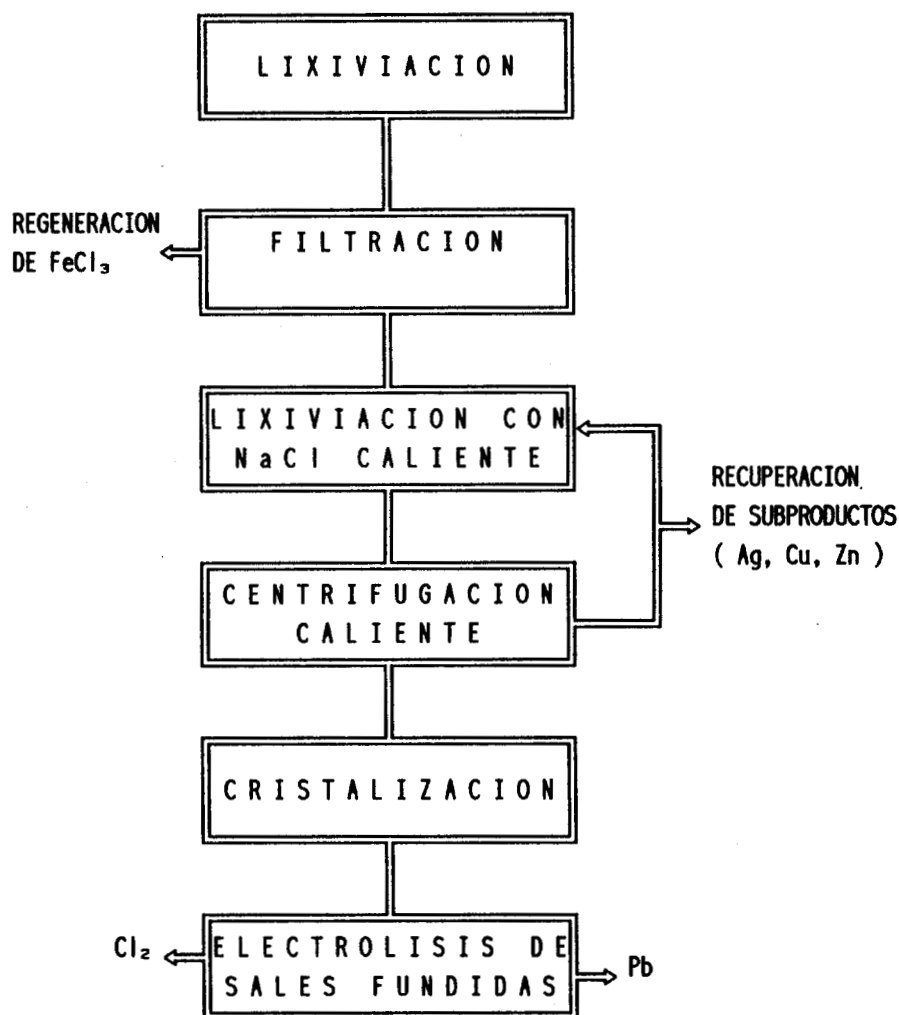
alternativa a los procesos pirometalúrgicos, aunque ha sido poco estudiado y el costo del nitrato férrico es alto.

El CuCl_2 actúa de manera semejante que el FeCl_3 , aunque la eficiencia del CuCl_2 es menor. La disolución de los productos de reacción CuCl y PbCl_2 y su difusión a través de la capa de azufre son los posibles limitantes en la lixiviación, Dutrizac (1989). El $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ como agente oxidante también ha sido empleado (Dutrizac 1992). Sin embargo es claro que las soluciones sulfatadas empleadas como agentes oxidantes forman productos insolubles, que luego tienen que ser disueltos, por lo general, en compuestos amínicos. No obstante el uso de estos extractantes orgánicos podría resultar costoso y causar problemas en el medio ambiente.

Por todo lo anterior, la lixiviación oxidativa con cloruro férrico ha sido considerada como una de las opciones más prometedoras debido a su buena selectividad, higiene ambiental y ciertas ventajas económicas. En base al diagrama de Eh-pH (Wadsworth, 1982), se demuestra la posibilidad termodinámica para la extracción de plomo con la formación de azufre elemental en una región ácida hasta un pH=6.

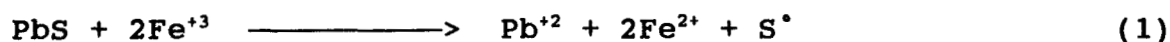
Uno de los primeros estudios sobre lixiviación con FeCl_3 fue el de Haver (1976), su trabajo consistió en la optimización del proceso, probando parámetros tales como tamaño de partícula, temperatura, proporción de FeCl_3/PbS , y acidez. Propuso un diagrama de flujo para la recuperación de plomo y su purificación por el método de electrólisis de sales fundidas (Figura 2).

Figura 2. Esquema del diagrama de flujo par la lixiviación de plomo a partir de galena con FeCl_3 (Haver et al, 1976)

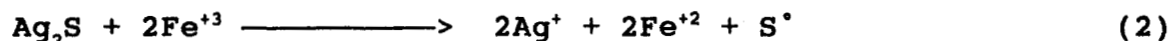


Cuando se trabaja a temperaturas elevadas (50-105 °C), la aparición de impurezas es inevitable, por lo que se requieren otras etapas adicionales para la recuperación de subproductos como la cementación, intercambio iónico, electrólisis, ó extracción por solventes. En algunas ocasiones son necesarias hasta 2 etapas de lixiviación.

La reacción de oxidación con el ión férrico que se lleva a cabo en la lixiviación (Kobayashi et al, 1990) es la siguiente:

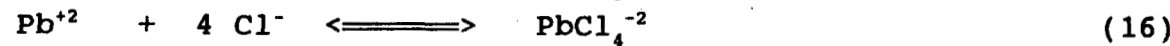
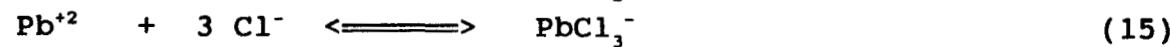
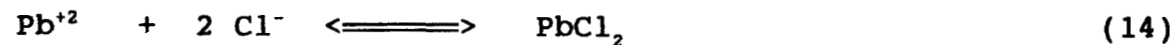
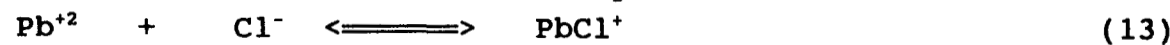
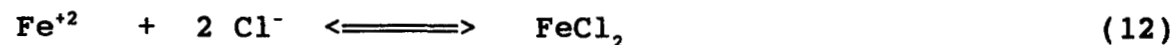
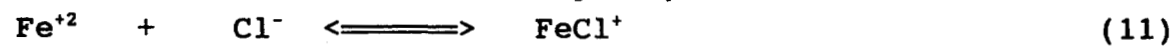
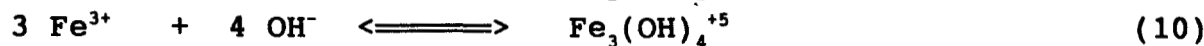
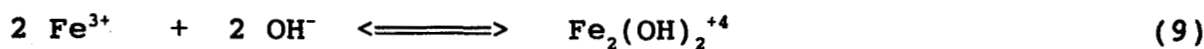
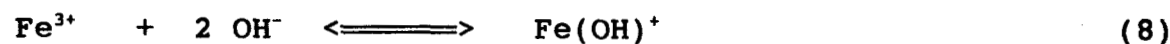
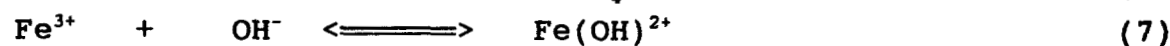
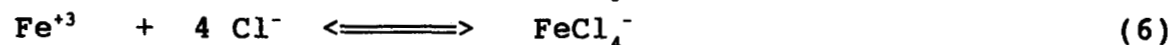
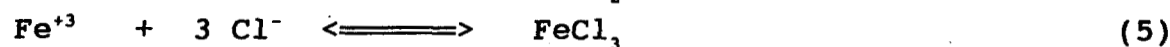
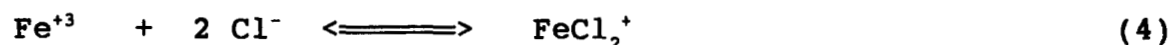
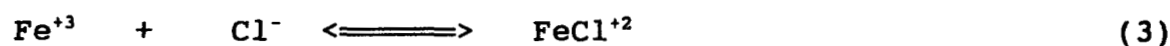


Cuando se trata de galena argentífera también se encuentra presente Ag_2S , cuya reacción sería:

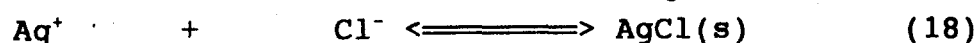
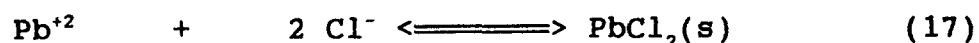


En la reacción principal de lixiviación (1), uno de los productos es el azufre elemental sólido, el cual se forma en la superficie de la galena (Dutrizac, 1986; Morin et al, 1985; Fuerstenau, 1986).

Las reacciones de complejación en la solución son las siguientes (Kim et al, 1986):



Además, existen las dos siguientes reacciones de precipitación en el sistema:



La presencia de sales cloradas como el NaCl, CaCl₂, favorecen la velocidad de lixiviación (Winand, R., 1991; Warren et al., 1987; Dutrizac, 1986) debido a la formación de clorocomplejos de hierro y plomo, incrementando así la solubilidad del PbCl₂ (Warren, 1987).

La mayoría de los estudios sobre cinética de lixiviación de galena con cloruro férrico han sido orientados a conocer el mecanismo que sigue la cinética de lixiviación y como este se ve afectado por las condiciones del sistema. En la búsqueda de expresiones cinéticas que puedan simular los datos experimentales, se ha utilizado el modelo de núcleo decreciente Yagi y Kunii (1955), como base teórica para la descripción de las etapas que siguen el mecanismo de lixiviación.

Morin et al. (1985), propusieron un modelo mixto de difusión de los iones Fe³⁺, y reacción química, sin considerar el efecto del PbCl₂(s). Para las condiciones utilizadas en sus estudio, encuentran que la temperatura y la concentración de cloro tienen un efecto débil. Fuerstenau et al. (1986), estudiaron los diferentes parámetros que afectan a la velocidad de disolución, así como a la difusividad de los iones complejos de Fe³⁺. Suponen que la difusión de estos iones a través de la capa de azufre, gobierna el proceso global de lixiviación, encontrando una dependencia con la concentración de cloruro férrico hasta una concentración de 0.2M. Su expresión cinética no considera el efecto de precipitación de PbCl₂, aunque menciona la existencia del límite de solubilidad.

Con respecto a la influencia que pueda tener la baja solubilidad del PbCl₂, Dutrizac (1986) observó un descenso en la velocidad de disolución, al incrementarse la concentración de PbCl₂ inicial en el medio lixivante, y afirma que la velocidad está controlada por la difusión del PbCl₂, a través de la capa de

azufre. Encontraron una energía de activación de 14.35 KJ/mol después de restar la influencia de la solubilidad del cloruro de plomo. Ajusta sus datos experimentales al modelo de núcleo decreciente con un control cinético por la reacción de oxidación.

Kim et al. (1986), calculan la distribución de clorocomplejos de Fe^{3+} , y Pb^{2+} a partir de datos termodinámicos, encontrando variaciones importantes con la concentración de cloruro libre total y no con el avance de la reacción. Consideraron a la reacción química como etapa limitante debido a la elevada energía de activación (301 KJ/mol). Proponen una ecuación para la velocidad intrínseca, ajustando sus datos en el intervalo de 0.15 a 0.6M de Fe^{3+} total. La desviación que tienen a altas conversiones la atribuyen a la presencia de PbCl_2 en los poros de las partículas del mineral. Warren et al. (1987), puntualizan la importancia del cloro libre en la velocidad de lixiviación, adicionando este efecto a su modelo de núcleo decreciente. Establecieron que la disolución se lleva acabo en tres etapas: Reacción química, difusión de cloruro y difusión de los producto a través de la capa porosa de azufre. Observaron por análisis de rayos X, la formación de PbCl_2 , en la superficie del mineral, el cual está en función del grado de saturación y de la concentración de cloro.

Los diferentes intervalos de operación de las variables que afectan a la velocidad de lixiviación, así como la etapa controlante de las investigaciones más recientes se presentan en la Tabla 1 .

**TABLA 1. SINTESIS DE LAS INVESTIGACIONES MAS RECIENTES, EN
LIXIVIACION DE PLOMO CON FeCl_3**

REFERENCIA	TEMP	FeCl_3	NaCl	HCl	ETAPA
Arai (1979)	25-50	.025- .075	0	.05- .51	Reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} en la superficie de reacción, al principio de la misma.
Kametani (1983)	70	.068	3		Reacción Química ó difusión, de acuerdo a las condiciones de operación.
Dutrizac (1986)	28-95	0.1-2.0	1-4	.1-3	Difusión del PbCl_2
Kim et al (1986)	27-57	.008-.8	1-5		Reacción Química
Fuerstenau et al (1986)	30-90	.1-.8	0-3		Difusión de cloro- complejos de Fe^{3+} , para soluciones cloradas y solubilidad del PbCl_2 , en ausencia del NaCl
Rath, et al. (1988)	14-80	.05-.20			Difusión de Cl^- , al inicio y del producto al final de la reacción
Sohn y Baek (1989)					Modelo Mixto: difusión y reacción de acuerdo al avance de la reacción

Todas las concentraciones de FeCl_3 , HCl , y NaCl estan dadas en moles por litro y la temperatura en grados centígrados. La etapa referida en la tabla es la etapa controlante del proceso de lixiviación.

Los datos con que trabajaron Sohn y Baek (1989), fueron tomados de Kim et al. (1986) y Fuerstenau et al. (1986).

Como se puede observar en la Tabla 1, el fenómeno que limita la extracción de plomo, se adjudica a un sólo fenómeno (difusión o reacción), a un control mixto, o bien de acuerdo al avance de la reacción y de las condiciones del sistema, por lo cual existe discrepancia en la etapa que gobierna la cinética de extracción. Los intervalos de concentración de cloruro férrico que se utilizaron en todos los estudios, se encuentran en exceso evitando así, variaciones de la concentración del agente oxidante en el seno de la solución durante el transcurso del experimento. Además, en la

mayoría de las condiciones se cumple el requisito de estado pseudo estacionario, esto es que la relación de $2C_{\text{FeCl}_3}/\rho_{\text{Pb}} < 0.1$ (Taylor et al., 1983). También se utilizan bajas proporciones de pulpa en la lixiviación (1-2.5%), lo cual conduce a trabajar por abajo del límite de solubilidad del PbCl_2 , con el fin de eliminar una resistencia por difusión de productos que no es tomada en cuenta en la solución analítica del modelo de núcleo decreciente tradicional. Un modelo mixto de reacción y difusión del PbCl_2 , es propuesto por Sohn y Baek (1989), considerando la saturación del PbCl_2 en el sistema utilizando los datos de Kim et al. (1986) y Fuerstenau et al (1986). El modelo es satisfactorio para concentraciones mayores de 0.15M y a temperaturas de 298 °K a 323 °K. A temperaturas más altas afirman que la velocidad de extracción puede no estar controlada por la difusión del PbCl_2 . Aunque se tomó en cuenta la solubilidad del plomo, se basó en la suposición de estado estacionario del modelo de núcleo decreciente, razón por la cual se tienen varias restricciones (Lapidus, 1992).

La incorporación del efecto de solubilidad sobre la cinética global hecha por Lapidus y Mosqueira (1988), y por Sohn y Baek (1989), también se basa en el estado estacionario y requiere del conocimiento de la concentración de saturación del PbCl_2 para las diferentes condiciones experimentales.

Es claro que bajo estas limitaciones no es posible obtener simulaciones de la cinética de extracción para altas densidades de pulpa, útiles para la minimización del tamaño del reactor empleado (Sohn y Wadsworth, 1982). Por otro lado cuando la solubilidad del producto limita la extracción, al utilizar altos porcentajes de sólidos, se obtienen bajas conversiones de plomo. Es por esta razón que es importante tomar en cuenta este efecto, fuera de los intervalos de operación utilizados tradicionalmente en laboratorio y para donde el modelo de núcleo decreciente tradicional deja de ser satisfactorio limitando al sistema a trabajar con grandes excesos de cloruro férrico, con bajas proporciones de sólidos en la

solución, y por abajo del límite de solubilidad del cloruro de plomo.

Antes de pasar a temas relacionados con el modelo es conveniente resumir los intervalos de las variables que se han investigado en la literatura. El efecto de la velocidad de agitación, el tamaño de partícula, la concentración de NaCl, la temperatura, la concentración de hidrónio y porcentaje de sólidos, se analizan a continuación.

2.2-PARAMETROS ESTUDIADOS

Los parámetros estudiados en la disolución de galena son:

- Velocidad de Agitación.
- Tamaño de Partícula.
- Concentración de NaCl
- Temperatura.
- $[H^+]$.
- Porcentaje de Sólidos.

VELOCIDAD DE AGITACION.- De los estudios reportados se ha observado que a velocidades de agitación mayores de 750 r.p.m. ($Re = 6.7E5$) (Morin, et al., 1985), ésta deja de tener efecto, disminuyendo así la resistencia ofrecida por la película estancada alrededor de las partículas.

TAMAÑO DE PARTICULA.- Los estudios anteriores han encontrado que la disminución del diámetro de partícula, es inversamente proporcional a la velocidad de disolución, es decir el área superficial de las partículas aumenta al disminuir su diámetro y por tanto la velocidad de lixiviación aumenta (Dutrizac, 1986).

CONCENTRACION DE NaCl.- La adición de $[NaCl] > 0.5 M$ incrementa la velocidad (Fuerstenau, et al., 1986), debido a que aumenta la solubilidad de clorocomplejos de plomo, que a la vez dependen de la actividad del ión cloruro libre, como es de esperarse. Esta solubilidad también es afectada fuertemente por la temperatura.

TEMPERATURA.- Las energías de activación reportadas por los autores de la tabla 1, se encuentran en el intervalo de 34 a 53 KJ/mol. Aparentemente corresponderían a un control por reacción; sin embargo, cuando se toma en consideración la dependencia de la solubilidad del $PbCl_2$ con la temperatura, la energía de activación disminuye. (Dutrizac, 1986).

EFECTO DEL pH.- La concentración de iones hidrónio, mantienen el estado de oxidación del FeCl_3 , pero no afecta la velocidad, en concentraciones menores de 3 M de HCl. Por arriba de 3 M hay un incremento en la velocidad de lixiviación, debido al cloruro añadido con el ácido, si se agrega HCl. (Dutrizac, 1986).

PORCIENTO DE SOLIDOS.- Todos los estudios reportados han tomado un 1% a un 2.5% en sólidos (Morin, 1985). Se toma un porcentaje de sólidos bajo para no llegar al límite de saturación del PbCl_2 y para mantener en exceso al ión férrico. Esto permite tomar la suposición de estado pseudo-estacionario, que exige la solución analítica del modelo de núcleo decreciente. Sin embargo en condiciones industriales el porcentaje de pulpa va de 20% - 30%, para lo cual no se han reportado trabajos.

2.3- MODELO DE NUCLEO DECRECIENTE

El modelo de núcleo decreciente en estado estacionario (Levenspiel 1972), utilizado para reacciones heterogéneas fluido-sólido, ha sido aplicado principalmente a reacciones gas-sólido, aunque las reacciones líquido-sólido también han sido analizadas en términos de este modelo por la mayoría de los autores para trabajos de hidrometalurgia, en donde las partículas del mineral son no porosas, con la formación de una capa de azufre sobre la galena (Dutrizac, 1986).

De acuerdo al modelo el proceso global de la lixiviación se lleva a cabo en etapas que ocurren en serie (Figura 3) y que son las siguientes:

- 1.- Transporte de Cloruro Férrico. (Agente oxidante), a través de la película hipotética del líquido estancado, del seno de la solución a la superficie de la partícula. (Transporte externo de masa).
- 2.- Difusión del agente oxidante. Esta difusión se realiza a través de la capa del producto sólido (azufre). (Transporte interno de masa).
- 3.- Reacción del agente oxidante con el sulfuro metálico en la interfase de reacción.
- 4.- Difusión del producto en forma de metal iónico o complejo, a través de la capa inerte.
- 5.- Transporte del producto, a través de la película de líquido estancado, desde la partícula a la solución.

Si bien todos estos procesos ocurren, uno ó una combinación de varios puede controlar a la tasa global de la lixiviación. Para

desarrollar una solución analítica a la ecuación de difusión (modelo clásico), se toman varias suposiciones :

A) La variación de la concentración del agente oxidante con el tiempo, es despreciable.

B) Se eliminan las resistencias originadas por el transporte de los productos (4 y 5). Cuando se trabaja por abajo del límite de solubilidad es válida esta suposición, sin embargo en un sistema donde la acumulación del producto puede afectar la cinética, la aseveración carece de validez (Lapidus, 1992).

C) Con respecto a las etapas controlantes se tiene : C₁) Si la transferencia de masa externa en la película estancada hipotética es lenta, (comparada con los demás procesos), y controla la cinética de lixiviación. El tiempo requerido por este proceso esta dado por la siguiente ecuación :

$$t = \frac{2 R_p \rho_m}{3 C_A k_{MA}} [X] \quad (19)$$

C₂) Si la difusión es la etapa controlante:

$$t = \frac{R_p^2 \rho_m}{3 C_A D_{eA}} \left[1 + 2(1-X) - 3(1-X)^{\frac{2}{3}} \right] \quad (20)$$

C₃ En el caso de un control por reacción:

$$t = \frac{2 R_p \rho_m}{k C_A} \left[1 - (1-X)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (21)$$

El tiempo total de lixiviación es la suma de las tres resistencias:

$$t = \frac{R_p^2 \rho_m}{6 C_A D_{eA}} \left[\frac{2 D_{eA}}{R_p k_{MA}} X + 1 + 2(1-X) - 3(1-X)^{\frac{2}{3}} + \frac{6 D_{eA}}{R_p k} (1 - (1-X)^{\frac{1}{3}}) \right] \quad (22)$$

donde:

ρ_m = Densidad molar del metal en el mineral.

C_A = Concentración del agente oxidante.

R_p = Radio de la partícula.

k = Constante cinética de la reacción de oxidación.

k_{MA} = Coeficiente de transferencia de masa del
agente oxidante en la película
estancada.

D_{eA} = Difusividad efectiva del agente oxidante.

X = Conversión fraccional.

Sin embargo, el modelo clásico de núcleo decreciente está limitado a sistemas donde la cinética de la reacción de oxidación es simple y a condiciones en las cuales la suposición de estado pseudo estacionario es válida (el movimiento del núcleo no reaccionado (R_c) es mucho más lento que la escala de tiempo necesaria para establecer el perfil de concentraciones del agente oxidante, el cual se encuentra en exceso). Otra limitación del modelo es que tampoco considera el efecto de la acumulación de los productos, (resistencias 4 y 5), lo cual adquiere gran importancia en sistemas que estan limitados por la solubilidad. Estudios hechos por Lapidus y Mosqueira (1988), han incorporado este efecto al modelo de núcleo decreciente, para el caso de lixiviación de pulpas diluidas y concentradas, llegando a las siguientes ecuaciones:

En el caso de pulpas muy diluidas:

Cuando controla la difusión de los productos a través de la capa de inerte.

$$t = \frac{R_p^2 \rho_m}{6 D_B (C_B^* - C_{B0})} \left[1 + 2(1-X) - 3(1-X)^{\frac{2}{3}} \right] \quad (23)$$

Y en el caso de un control por transferencia externa de masa de los productos:

$$t = \frac{R_p^2 \rho_m}{3k_{mB}(C_B^* - C_{B0})} X \quad (24)$$

El tiempo total es la suma de resistencias a las anteriores (ecuación 6). Aquí C_B^* , representa la máxima solubilidad del metal iónico, la cual varía exponencialmente con la temperatura y C_{B0} es la concentración del metal inicialmente presente en el seno de la solución. Aunque la adición de estos términos, (ecuaciones (23) y (24)), consideran el efecto de los productos, es necesario saber de antemano el valor de su solubilidad, C_B^* . Lo anterior no es un problema trivial en el sistema bajo consideración, en donde la solubilidad de plomo depende de varios parámetros de la solución.

Para superar las limitaciones del modelo clásico se pretende resolver las ecuaciones de difusión en estado transitorio e incorporar al planteamiento los equilibrios de especies que permiten predecir la solubilidad de los productos.

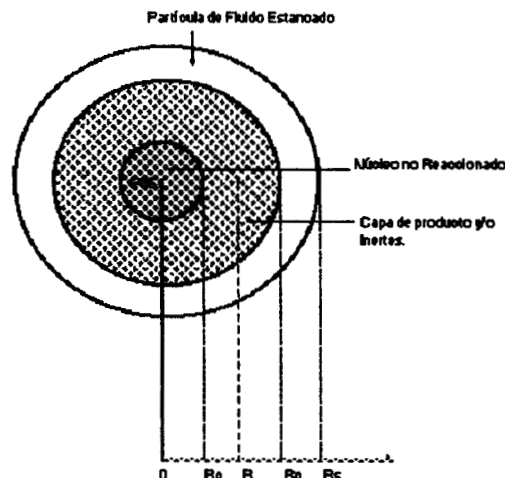


Figura 3. Modelo de Núcleo Decreciente

3.- DESARROLLO TEORICO

De acuerdo a las investigaciones realizadas se ha comprobado por microscopía electrónica (Warren et al., 1987) que la extracción de plomo se aproxima a una situación de núcleo decreciente. Como anteriormente se mencionó, la partícula del mineral conserva su tamaño original a lo largo del proceso y los reactivos fluidos tienen que difundirse a través de la capa de productos sólidos y/o inertes para encontrar el reactivo sólido. A medida que transcurre el tiempo, esta capa crece y el área disponible para la reacción disminuye. Por lo tanto las condiciones de frontera y la difusión de las diferentes especies varía tanto con el tiempo como en la dirección radial.

Teniendo como base lo anterior y de acuerdo a las condiciones del sistema de lixiviación, se tienen las siguientes suposiciones:

- 1.- Las reacciones de acomplejación alcanzan el equilibrio instantáneamente en toda la solución.
- 2.- Los minerales metálicos sujetos a la lixiviación están uniformemente distribuidos en toda la partícula.
- 3.- Se considera que la difusión de las especies se da únicamente en la dirección radial.
- 4.- Las partículas son esféricas y mantienen su forma y tamaño a lo largo del proceso.
- 5.- Las diferentes etapas del proceso, difusión y reacción se llevan a cabo en serie.
- 6.- El proceso es isotérmico, no se considera una diferencia de temperaturas dentro de la partícula.

Teniendo como base estas suposiciones, la difusión de cada

especie en solución a través de la capa de azufre, ya sea reactivo o producto, puede describirse por la segunda ley de Fick.

$$\epsilon \frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{D_i}{R^2} \frac{\partial}{\partial R} \left[R^2 \frac{\partial C_i}{\partial R} \right] \quad (25)$$

$$R_c < R < R_p$$

El encogimiento de núcleo o movimiento de la frontera puede describirse mediante un balance del metal en la partícula.

$$\rho_m \frac{\partial R_c}{\partial t} = - \text{Densidad de Flujo [PM]}|_{R_c} \quad (26)$$

La conversión está relacionada con la posición del núcleo por:

$$X = 1 - \left[\frac{R_c}{R_p} \right]^3 \quad (27)$$

donde:

ϵ = Porosidad de la capa de inertes.

C_i = Concentración de la especie i en solución.

PM = Producto metálico fluido de interés (Pb).

D_i = Difusividad efectiva de la especie i a través de la capa de inertes.

ρ_m = Densidad del mineral.

R = Posición radial.

R_c = Radio del núcleo decreciente.

R_p = Radio de la partícula

Dada la gran cantidad de especies se considera la difusión por especie química total (C_i), es decir $[\text{Fe}^{3+}]_{\text{Total}}$, $[\text{Fe}^{2+}]_{\text{Total}}$, $[\text{Cl}^-]_{\text{Total}}$ y $[\text{Pb}^{2+}]_{\text{Total}}$ y $[\text{OH}^-]_{\text{Total}}$. Además, se considera que las reacciones acomplejantes ocurren en la solución y son mucho más rápidas que la reacción de lixiviación (Lapidus, 1991). De esta forma se tiene los siguientes balances de masa para las especies totales (Kim et al. 1986):

$$[\text{Fe}^{3+}]_T = [\text{Fe}^{3+}] + [\text{FeCl}^{2+}] + [\text{FeCl}_2^+] + [\text{FeCl}_3^\circ] + [\text{FeCl}_4^-] + \\ + [\text{Fe}(\text{OH})^{2+}] + 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] + 3[\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}]$$

$$[\text{Pb}^{2+}]_T = [\text{Pb}^{2+}] + [\text{PbCl}^+] + [\text{PbCl}_2^\circ] + [\text{PbCl}_3^-] + [\text{PbCl}_4^{2-}]$$

$$[\text{Fe}^{2+}]_T = [\text{Fe}^{2+}] + [\text{FeCl}^+] + [\text{FeCl}_2^\circ]$$

$$[\text{Cl}^-]_T = [\text{Cl}^-] + [\text{FeCl}^{+2}] + 2[\text{FeCl}_2^+] + 3[\text{FeCl}_3^\circ] + 4[\text{FeCl}_4^-] + \\ + [\text{FeCl}^+] + 2[\text{FeCl}_2^\circ] + [\text{PbCl}^+] + 2[\text{PbCl}_2^\circ] + 3[\text{PbCl}_3^-] \\ + 4[\text{PbCl}_4^{2-}]$$

$$[\text{OH}^-]_T = [\text{OH}^-] + [\text{Fe}(\text{OH})^{2+}] + 2[\text{Fe}(\text{OH})_2^+] + 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] + \\ + 4[\text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}]$$

En $t = 0$ se tienen sólo las concentraciones iniciales del cloruro férrico, ácido clorhídrico, y cloruro de sodio. Se supone que no hay recirculación de la solución lixiviante y por tanto que $[\text{Pb}^{2+}]_T = 0$. La presencia inicial de plomo en la solución lixiviante podría ser considerada en un posterior estudio, si se requiere.

Por lo tanto, las condiciones a $t = 0$ son $R_c = R_p$ y las siguientes:

$$[\text{Fe}^{3+}]_T = [\text{Fe}_T] \text{ inicial} = [\text{Fe}_T]^\circ \quad (28)$$

$$[\text{Pb}^{2+}]_T = 0 \quad (29)$$

$$[\text{Fe}^{2+}]_T = 0 \quad (30)$$

$$[\text{Cl}^-]_T = [\text{Cl}_T] \text{ inicial} = [\text{Cl}_T]^\circ \quad (31)$$

$$[\text{OH}^-]_T = [\text{OH}^T] \text{ inicial} = [\text{OH}_T]^\circ \quad (32)$$

Puesto que se está considerando que es pequeña la resistencia por transferencia de masa externa (agitación vigorosa), la concentración que tengan las diferentes especies químicas en el seno de la solución será la misma que en la superficie externa de la partícula y su cambio dependerá de la reacción de oxidación.

en $t > 0$ y en $R = R_p$ (Seno de la solución):

$$[\text{Fe}^{3+}]_T = [\text{FeT}]^0 - 2 \cdot \text{bal} \cdot X \quad (33)$$

$$[\text{Cl}^-]_T = [\text{ClT}]^0 \quad (34)$$

$$[\text{Fe}^{2+}]_T = 2 \cdot \text{bal} \cdot X \quad (35)$$

$$[\text{Pb}^{2+}]_T = \text{bal} \cdot X \quad (36)$$

$$[\text{OH}^-]_T = [\text{OH}]^0 \quad (37)$$

donde:

bal = Balance de masa en la solución. (Número de moles de plomo en el sistema/volumen de solución lixiviante.

X = Conversión $1 - (R_c/R_p)^3$

En $t > 0$ y en $R = R_c$ (Superficie de la reacción), los flujos de cada especie están determinados por la estequiometría de la reacción de oxidación.

$$\text{Densidad de Flujo } [\text{Fe}^{3+}]_T = -2 \text{ Densidad de Flujo de } [\text{Pb}^{2+}] \quad (38)$$

$$\text{Densidad de Flujo } [\text{Cl}^-]_T = 0 \quad (39)$$

$$\text{Densidad de Flujo } [\text{Fe}^{2+}]_T = 2 \text{ Densidad de Flujo de } [\text{Pb}^{2+}] \quad (40)$$

$$\text{Densidad de Flujo } [\text{Pb}^{2+}]_T = K_c [\text{FeT}]^n \quad (41)$$

$$\text{Densidad de Flujo } [\text{OH}^-]_T = 0 \quad (42)$$

K_c = Constante cinética de la reacción de oxidación (1)

n = Orden de la reacción de oxidación

El modelo se resuelve adimensionalizando primero las ecuaciones (25) y (26), junto con las condiciones iniciales y de frontera. Se discretizan las ecuaciones de difusión utilizando colocación ortogonal en la dirección radial y diferencias finitas para el tiempo. El sistema de ecuaciones algebraicas no lineales que se forma (debido al producto de las diferentes concentraciones de las especies que son involucradas en las constantes de

equilibrio) se resuelve a diferentes tiempos por el método de Newton - Raphson. Posteriormente, se procede a verificar si el producto de las concentración de Pb^{2+} y Cl^{-} en la frontera del núcleo no reaccionado (R_c) no excede el límite de solubilidad impuesto por el producto de solubilidad :

$$K_{ps} PbCl_2 = [Pb^{2+}] [Cl^{-}]^2 = 2.9 \times 10^{-5} \quad (43)$$

en caso contrario, de que se alcance o exceda el valor de saturación se vuelve a resolver el sistema de ecuaciones sustituyendo el producto de solubilidad por la expresión cinética usada en la condición de frontera en R_c para Pb^{2+} (ecuación (41)), señalada arriba.

4 .- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las investigaciones anteriores han sido enfocadas a la descripción cinética aplicando el modelo de núcleo decreciente en estado estacionario, lo que implica trabajar con grandes excesos de cloruro férrico y bajas concentraciones de sólidos en solución. Se hizo necesario reproducir experimentación bajo estas condiciones, debido a que los resultados reportados en la literatura no incluían todas las especificaciones necesarias para la presente modelación. Por otro lado para poder corroborar el modelo, se hizo necesario llevar a cabo una serie de experimentos que abarcaran rangos de operación fuera de los restringidos por el modelo tradicional, dado a que no existe experimentación hecha a estas condiciones.

4.1.- Material y Equipo

Las lixiviaciones se realizaron en un reactor de resinas de 1 litro, marca Pyrex, con tapa de vidrio y perforaciones para la entrada de termómetro, condensador y sistema de agitación, Cáframo modelo RZR1, Figura 4. La temperatura se controló mediante un baño, con un recirculador de temperatura, Haake modelo E2. La acidez se verificó con un medidor de pH, marca Conductronic modelo 20. Se utilizaron pipetas de vidrio poroso, para la toma de muestras y éstas fueron analizadas en un espectrometro de Absorción Atómica modelo Varian SpectrAA-20 (Apendice D).

4.2.- Reactivos

El mineral que se estudió, es un concentrado de galena proveniente de la mina "Real de los Angeles" del estado de Zacatecas, tamizado en seco y en húmedo de malla -200 + 325. El análisis del mineral presentó la siguiente composición promedio, de porcentaje en peso: 45 % Pb, 0.52 % Ag, 3.05% Zn, 0.316 % Cu, 12.9% Fe, material insoluble y 5.35 % en carbón. Todas las especies metálicas estaban presentes en forma de sulfuros. El área

superficial del mineral fue de 1.64 m²/gr, determinada por adsorción de nitrógeno, valor que confirma su carácter no poroso. Todas las sustancias fueron de grado reactivo y el agua utilizada fue tridestilada.

4.3.- Procedimiento

La solución lixiviante se preparó de acuerdo a la concentración deseada. Las condiciones experimentales fueron las siguientes :

PARAMETRO	VALORES EMPLEADOS
Cloruro Férrico (M)	0.02, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 y 0.77
Cloruro de Sodio (M)	0, 0.5, 1.0, 2.0 y 3.0
Acido Clorhídrico (M)	0, 0.01, 0.022 y 0.03, 0.045, 0.075 y 0.10
Temperatura (°K)	303, 328 y 353
Gramos de mineral/litro de solución	1, 3, 5, 10, 30 y 50
Agitación (r.p.m)	750

TABLA 2 CONCENTRACION Y PORCENTAJE EN EXCESO DE FeCl_3 , Y RELACION
DE $2 C_{\text{FeCl}_3} / \rho_{\text{Pb}}$

CONCENTRACION MOLAR DE FeCl_3	PORCENTAJE EN EXCESO DE FeCl_3	Relación de la suposición de estado pseudo- estacion $2C_{\text{FeCl}_3} / \rho_{\text{Pb}}$
0.02	Estequiometrico	0.015
0.05	150	0.038
0.10	400	0.076
0.15	650	0.115
0.20	900	0.154
0.25	1150	0.193
0.30	1400	0.231
0.77	150	4.660

Fueron colocados en el reactor 600 mL de solución lixiviante. Cuando se llegó a la temperatura correspondiente, se adicionaron los gramos correspondientes de mineral. Se tomaron muestras de la solución a los 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 210, y 240 minutos, con una pipeta de fondo de vidrio poroso, para impedir el paso del mineral. Las muestras que fueron de 5 a 7 mL., se diluyeron y se analizaron en el espectrofotometro de Absorción Atómica.

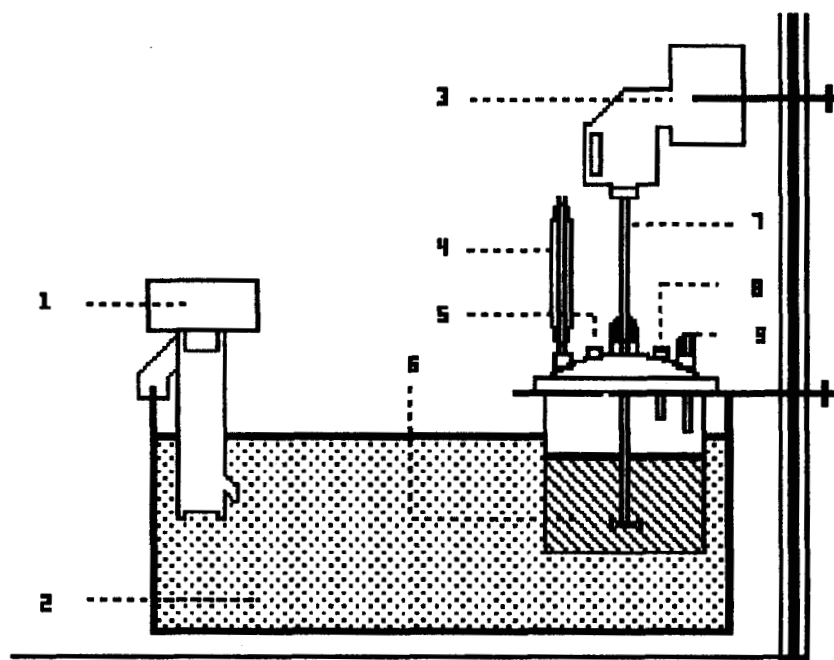


Figura 4. Sistema Experimental

Partes del Equipo :

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Controlador de temperatura | 6. Flecha |
| 2. Baño de temperatura constante | 7. Varilla |
| 3. Agitador | 8. Extracción de muestras |
| 4. Condensador | 9. Termómetro |
| 5. Reactor | |

5.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 - PREDICCIONES DEL MODELO

Un modelo validado de la lixiviación de plomo debe permitir, por un lado, la predicción del comportamiento cinético y termodinámico de la extracción, bajo variadas condiciones de la solución y, por el otro explicar con base en fenómenos químicos, comportamientos experimentales observados. En este estudio se confrontaron las predicciones del modelo con los resultados experimentales para 25 lixivitaciones (Tabla 4). Las simulaciones se llevaron a cabo ajustando los valores de difusividad efectiva del ión férrico y el número de Damkohler (Sohn, H.Y. y Wadsworth, M.E., 1986), definido como :

$$Dam = \frac{R_p K_c C^{n-1} Fe_{Total}}{Deff_{Fe_{Total}}} \quad (44)$$

Los valores resultantes para cada experimento y entre sí son consistentes para un orden de reacción de uno. La comparación entre los datos experimentales y la predicción del modelo así como los valores ajustados se encuentran en el Apendice A, para cada experimento incluido en el presente estudio. Los experimentos abarcaron intervalos amplios de concentración de $FeCl_3$ (0.02-0.77M), de NaCl (0- 3M), de temperatura (303 - 353 °K) y de porcentaje de sólidos (1-50 gr de mineral/litro de solución lixiviante. En general se puede afirmar que hay concordancia entre los datos y las predicciones en todos los casos. Es especialmente importante destacar la capacidad del modelo para predecir el comienzo de la precipitación superficial y la saturación de la solución a tan variadas condiciones. Como se menciona en el Apéndice B, para todas las simulaciones y a una misma temperatura se usaron los mismos valores de constantes de equilibrio, entalpías de reacción y constantes B para la corrección modificada de Bromley para la fuerza iónica. (Bromley, L.A., 1973).

Uno de los principales fundamentos en la modelación matemática es la atribución de la solubilidad como factor limitante en la cinética de lixiviación.

Esto puede ser corroborado, con los datos experimentales, al trabajar en concentraciones altas de sólidos, donde se puede observar que la extracción se ve limitada debido a la precipitación del PbCl_2 , (Figura 5).

Para concentraciones bajas de sólidos también el modelo es satisfactorio: Aquí el fenómeno de precipitación no sucede dado a que la concentración del plomo se encuentra por abajo del límite de saturación; es decir, el valor de producto de solubilidad no alcanza al valor en la frontera de reacción (Apendice A: experimento 24).

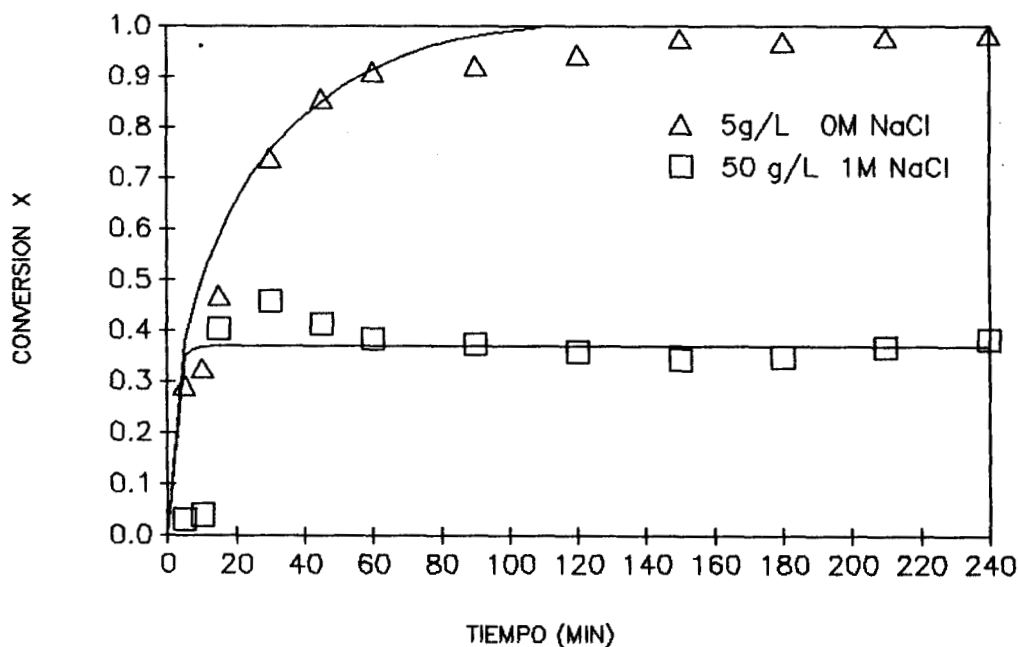


Figura 5. Lixiviación de plomo con FeCl_3 ,
 $\text{FeCl}_3=150\%$ Exceso, $\text{HCl}=0\text{M}$, $T=353^\circ\text{K}$

Otro hecho importante es que el modelo no está restringido a condiciones donde el agente oxidante se encuentre en exceso. En la Figuras 6 y 7, se muestran lixiviaciones donde la concentración de cloruro férrico es la estequiométrica.

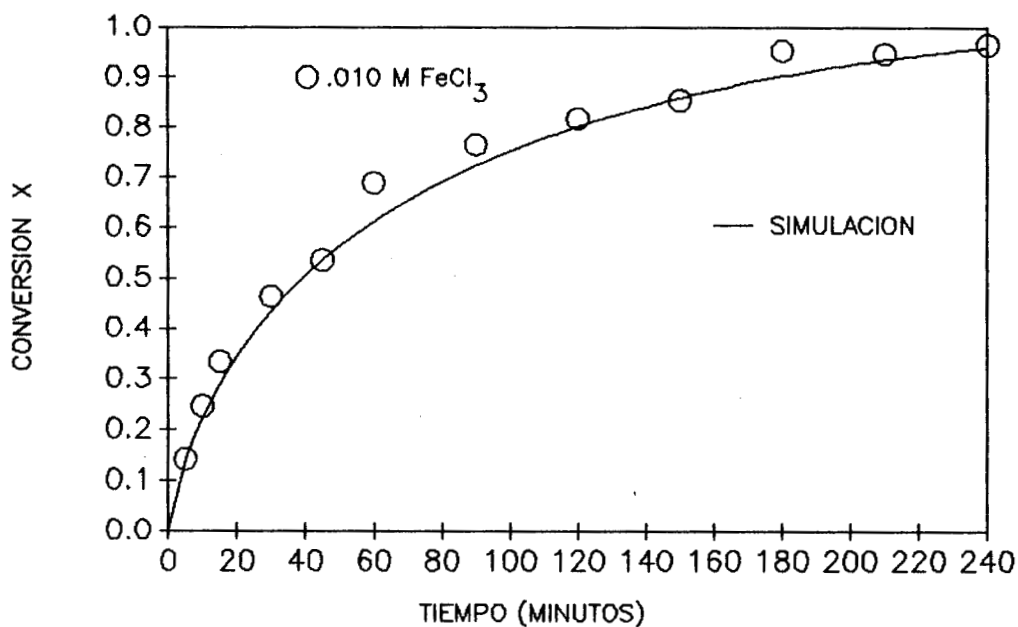


Figura 6. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
1 g/L, $\text{NaCl}=0\text{M}$, $\text{HCl}=0.16\text{M}$, $T=303^\circ\text{K}$

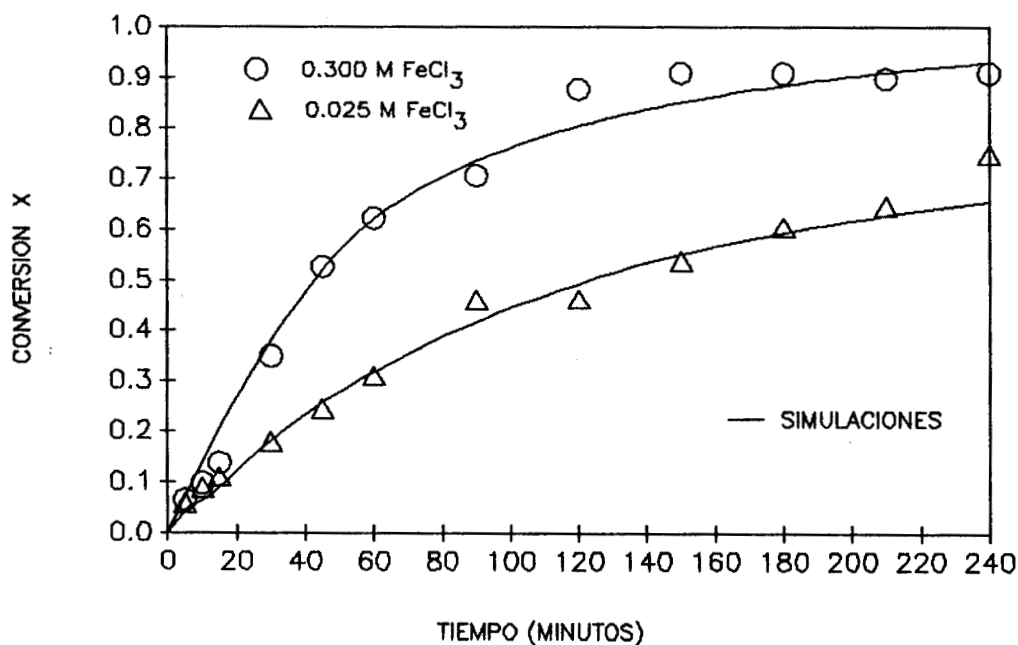


Figura 7. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
3 g/L, $\text{NaCl}=1\text{M}$, $\text{pH}=1$, $T=303^\circ\text{K}$

5.2.- Efecto de los parámetros

Concentración de FeCl_3

En el intervalo de concentraciones de, 0.02 a 0.15 Molar de FeCl_3 , se cumplen las condiciones para las cuales es válida la suposición de estado pseudo-estacionario Tabla 2. Como se podrá observar el modelo puede simular la velocidad de extracción bajo estas condiciones Figura 8. Por otro lado al incrementarse la concentración de cloruro férrico, también la velocidad de extracción aumenta. Sin embargo en 0.15 M, ésta tiende a hacerse menor que la que se obtienen a 0.10 Molar. Este hecho también es predecido por el modelo y puede adjudicarse al descenso que se tiene la solubilidad total del plomo para este rango de operación.

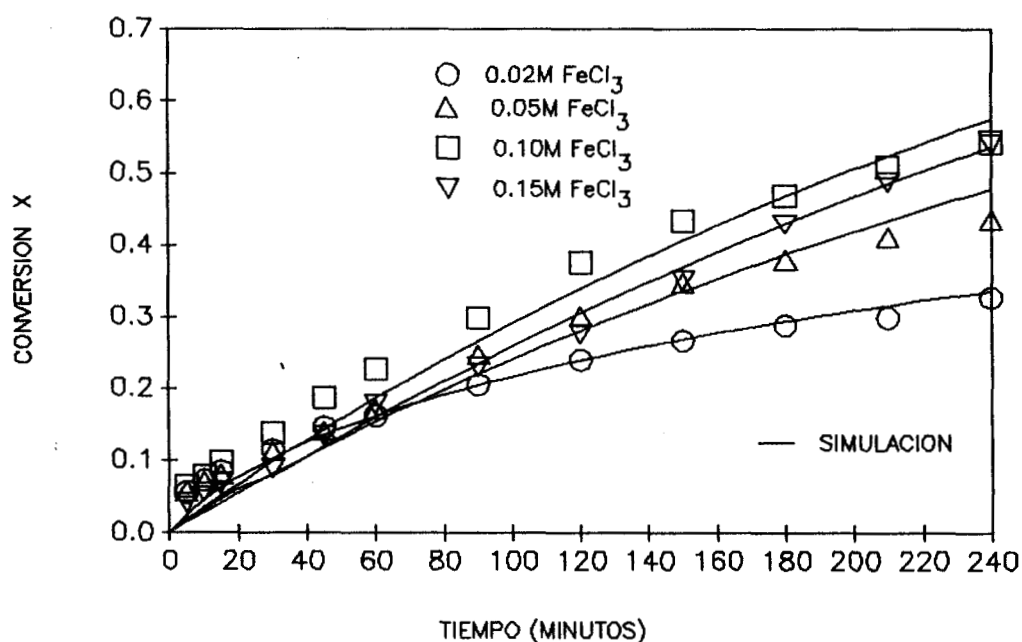


Figura 8. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
5 g/L, $\text{NaCl}=0\text{M}$, $\text{pH}=1$, $T=303^\circ\text{K}$

En el intervalo de 0.2M a 0.3M de FeCl_3 , donde a pesar de que se llegan a tener grandes excesos de cloruro férrico, la relación de concentración y densidad molar del plomo se hace mayor que 0.1, Tabla 2, dejando de tener validez. En la Figura 9, se puede observar que la velocidad esta limitada por la baja solubilidad del PbCl_2 y se hace independiente de la concentración de FeCl_3 de 0.20 a 0.30, lo que también fue observado por Dutrizac (1986) y Fuerstenau et al. (1986). En esta misma gráfica también se indica el tiempo en el cual el modelo predice la formación del precipitado de PbCl_2 en la frontera de reacción, y es apróximadamente el momento en el cual comienza la velocidad a disminuir hasta llegar a la saturación. Este hecho demuestra que la formación de PbCl_2 , debido a su baja solubilidad, impide la extracción total del plomo, y por lo tanto que la difusión de Pb^{2+} sea nulificada.

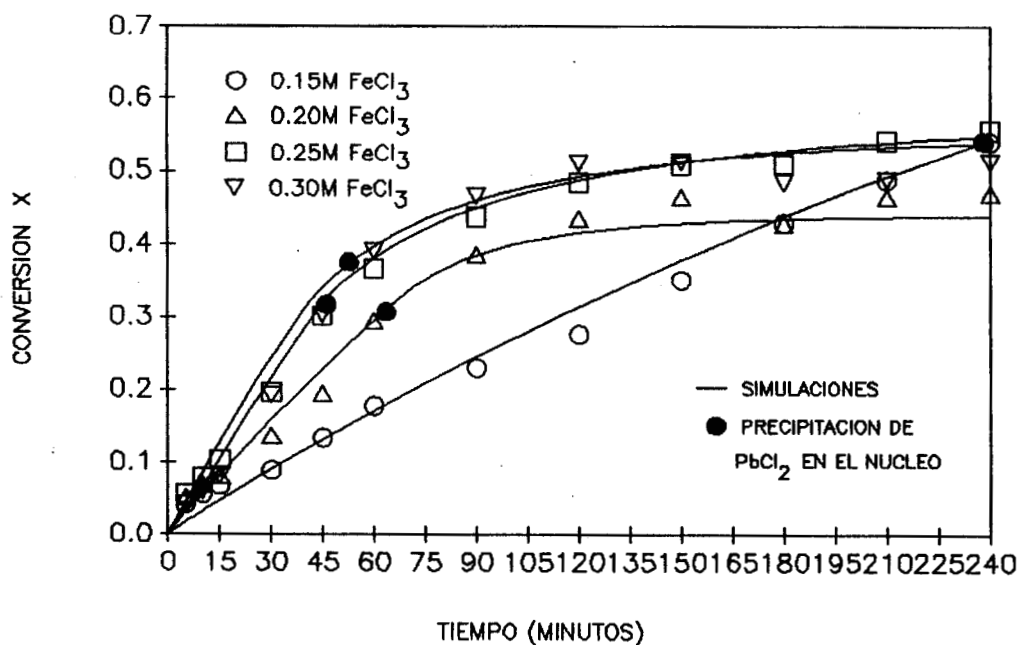


Figura 9. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 , 5 g/L, $\text{NaCl}=0\text{M}$, $\text{pH}=1$, $T=303^\circ\text{K}$

En la Tabla 3 se muestran los valores ajustados de difusividad efectiva del Fe^{3+} , y número de Damkholer y las predicciones del modelo para conversiones a los 240 minutos.

TABLA 3 - DIFUSIVIDADES EFECTIVAS DE Fe^{3+} Y NUMEROS DE DAMKOHLER
 $T = 303 \text{ }^{\circ}\text{K}$, $\text{PH} = 1$, $\text{NaCl} = 0\text{M}$

CONCENTRACION DE FeCl_3 (M)	DAMKHOLER	DIFUSIVIDAD EFECTIVA (cm^2/seg)	CONVERSION A 240 MIN. (%)
.05	0.20	$0.5\text{E}-7$	43.52
.10	0.22	$3.0\text{E}-7$	54.29
.15	0.12	$3.0\text{E}-7$	54.05
.20	0.25	$3.0\text{E}-7$	43.00
.25	0.25	$2.5\text{E}-7$	54.00
.30	0.18	$3.0\text{E}-7$	53.00

Como se puede observar, la difusividad efectiva (un parámetro de ajuste) aumenta con la concentración y se mantiene relativamente constante a partir de 0.1M de FeCl_3 , lo cual concuerda con el comportamiento de la difusividad libre reportado por Fuerstenau et al. (1986).

El número de Damkohler (que también ha sido tomado como un parámetro de ajuste) concuerda con un control mixto de reacción y difusión. Para un Damkohler < 0.1 la reacción química controla y cuando el Damkohler > 10 es la difusión a través de la capa de producto la que controla (Sohn, 1986). La consistencia en el número de Damkohler para las diferentes concentraciones demuestra que el orden de reacción supuesto de uno es correcto.

Concentración de NaCl y HCl

Como se ha mencionado anteriormente, la solubilidad de PbCl_2 se ve favorecida por la presencia de sales cloradas. En la Figura 10, se puede notar cómo aumenta la solubilidad para diferentes concentraciones de NaCl. Existe una marcada diferencia en la extracción, que también es predicha por el modelo. Es importante hacer notar que mientras para una concentración de 0.5 Molar de cloruro de sodio la precipitación del PbCl_2 en la frontera de reacción, ocurre en un tiempo menor a un minuto con un 17 % de conversión (Experimento 15), se tarda de 30 a 40 minutos en llegar a la saturación en el seno de la solución, alcanzando un límite de 67 % de conversión. En el caso de una concentración de 2 Molar de cloruro de sodio (Experimento 17), la precipitación en el frente de reacción ocurre después de los 25 minutos con una conversión del 68 %, por lo que puede alcanzar una extracción total. En una concentración de 3 Molar de NaCl no ocurre la precipitación del PbCl_2 por lo que se logra la extracción total del plomo (Experimento 18). El hecho de que el incremento en la concentración del cloruro de sodio aumente el grado de extracción, se debe a que aumentan la concentración de complejos de plomo altamente clorados en la solución, además la constante del producto de solubilidad se ve afectada fuertemente por el alto valor de fuerza iónica en estas condiciones, como se puede observar en los experimentos correspondientes a cada una de las concentraciones.

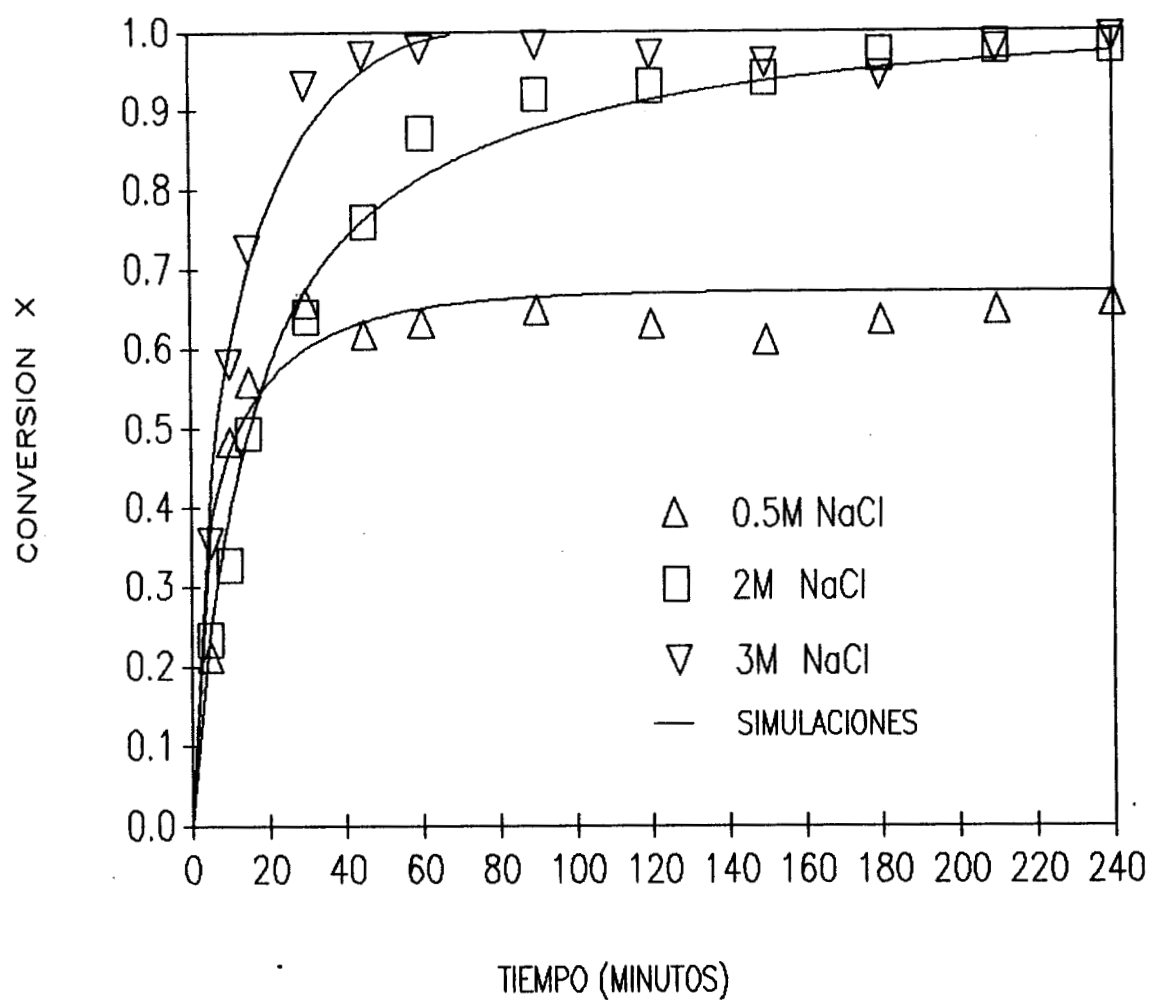


Figura 10. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
10 g/L, $\text{FeCl}_3=0.10\text{M}$, $\text{pH}=1$, $T=328^\circ\text{K}$

Este mismo comportamiento se puede observar con la concentración de HCl a la temperatura de 328 °K (Figura 11), donde el efecto que tiene el ácido, es por la adición de cloro libre al sistema. A pH =1, se llega rápidamente a la saturación, en tanto que a un pH=2, con concentración de cloro, diez veces menor, la velocidad es más lenta comparada con la de un pH=1.

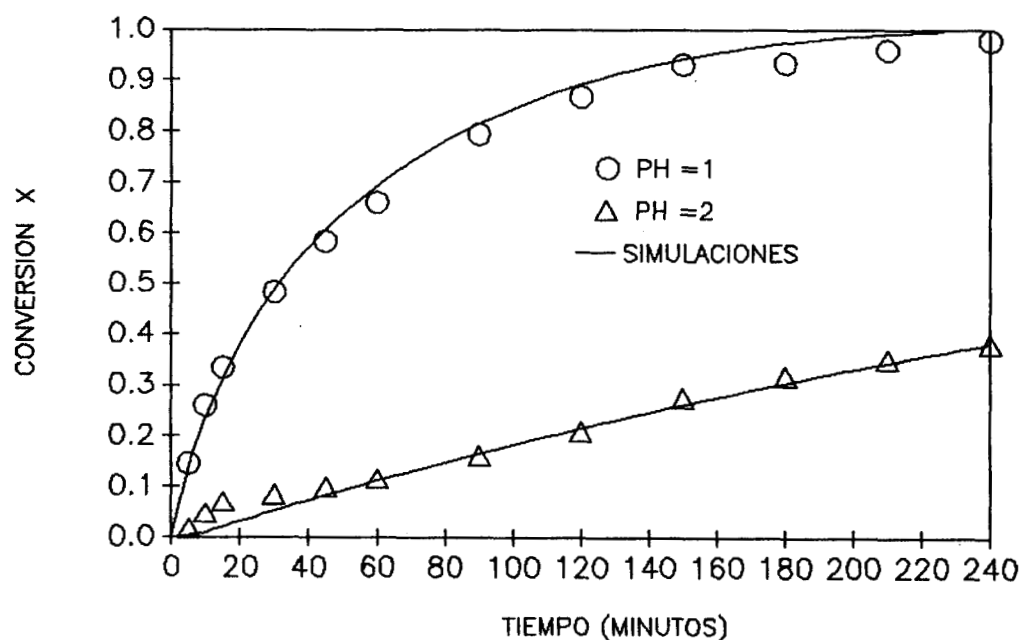


Figura 11. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 , 5g/L, $T=328^\circ\text{K}$, $\text{FeCl}_3=0.05\text{M}$, $\text{NaCl}=0\text{M}$

Porcentaje de sólidos

Una prueba contundente de la validez del modelo, al considerar la baja solubilidad como limitante en la extracción de plomo, constituye el incremento en el porcentaje de sólidos. Como se puede ver en la Figura 12, el modelo predice las tendencias esperadas por los datos experimentales. A medida que aumenta el porcentaje en sólidos la velocidad de extracción disminuye debido a la baja solubilidad.

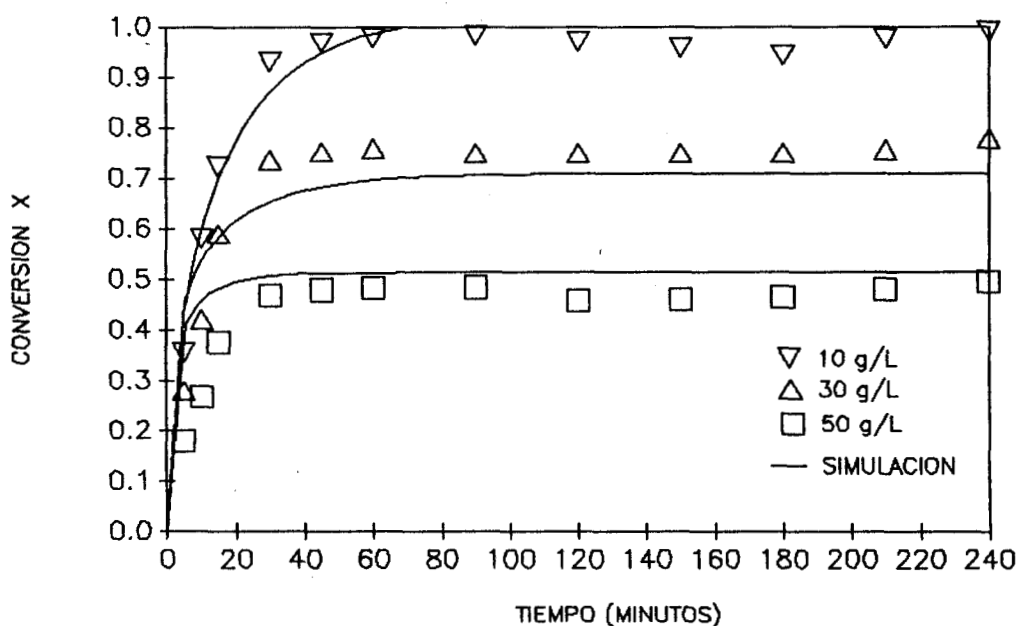


Figura 12. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
 $T=328^\circ\text{K}$, $\text{pH}=1$, $\text{NaCl}=3\text{M}$, $\text{FeCl}_3=150$ %Exceso

los experimentos 18, 20 y 21 que corresponden a 10, 30 y 50 g/L respectivamente, sólo en el experimento 18, se alcanza una conversión total, dado a que no se llega al límite de solubilidad en el seno de la solución. En todos los casos el producto de solubilidad se ve favorecido por la fuerza iónica alta que se tiene, sin embargo en los casos de 30 y 50 g/L, se llega a la saturación del PbCl_2 . Lo anterior se explica porque la concentración de sólidos también aumenta el plomo total del sistema pero con el mismo valor de producto de solubilidad.'

TEMPERATURA

El comportamiento de la lixiviación con la variación en la temperatura también es predicha por el modelo (Figura 13). Es importante hacer notar que a temperaturas de 353°K, el modelo sigue siendo satisfactorio y la extracción de plomo es casi completa, al verse incrementada la solubilidad por la temperatura. Como se puede notar la temperatura afecta a la cinética de extracción, por lo que se podría aseverar un control mixto de reacción y difusión al tener una energía de activación de 61.13 Kj/mol, para estas condiciones.

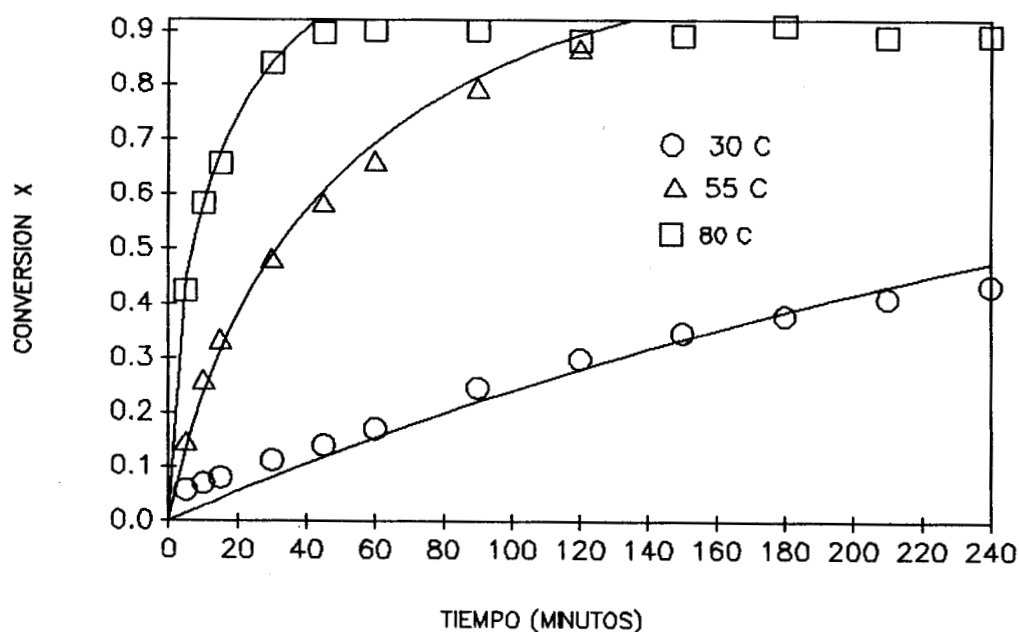


Figura 13. Lixiviación de Plomo con FeCl_3 ,
 $\text{FeCl}_3 = 0.05\text{M}$, $\text{NaCl} = 0\text{M}$, 5g/L

CONCLUSIONES

129833

El efecto de la solubilidad de los productos ejerce gran influencia en este tipo de sistemas, la importancia en la formulación de este modelo no es sólo determinar este hecho, sino es la predicción del momento en el que se forma el PbCl_2 sólido en la frontera de reacción, razón por la cual, en algunas condiciones de operación cuando se llega a estar por arriba del límite de solubilidad no se logra una extracción total. El calculo del producto de solubilidad tanto en la frontera de reacción como en el seno de la solución es calculado por el programa para las diferentes condiciones y para los diferentes tiempos de lixiviación, no requiriéndose datos experimentales o bibliográficos para su determinación, difíciles de obtener.

Como se observó en los estudios anteriores la etapa o etapas que controlan al sistema dependen de las condiciones del sistema, el modelo puede predecir bajo que régimen cinético se encuentra el sistema en cualquier condición de operación, por medio del número de Damkholer.

Las restricciones impuestas por el modelo de núcleo decreciente tradicional son superadas al considerar la difusión de productos y reactantes así como sus respectivos equilibrios en la solución. Al trabajar en un estado transitorio permite trabajar con cantidades estequiométricas de agente oxidante, posibles acumulaciones de producto (PbCl_2) y con altas o bajas concentraciones de sólidos en la solución.

El modelo predice satisfactoriamente los diferentes efectos de concentración de cloruro férrico, cloruro de sodio, ácido clorhídrico, porcentaje de sólidos y variación de temperatura. El tiempo en el cual se precipita el PbCl_2 en la frontera de reacción, también es determinado por el modelo para las diferentes condiciones, razón por la cual la velocidad de extracción se ve limitada. El modelo abarca intervalos de operación fuera de los considerados tradicionalmente, con lo cual se puede llegar a optimizar el proceso de lixiviación.

NOMENCLATURA

Re = Número de Reynolds.

ρ_{Pb} = Densidad Molar del plomo, por litro de mineral

D_B = Difusividad Efectiva del Pb_{2+} en la capa de azufre.

k_{mB} = Coeficiente de transferencia de masa del producto en la película estancada.

C_j = Concentración de referencia (Fe_{3+})

D_j = Difusividad efectiva del Fe_{3+}

D_{PM} = Difusividad efectiva del producto metálico (Pb_{2+})

C_{PM} = Concentración del producto metálico

Dam = Damkholer ecuación (44)

$Deff$ = Difusividad Efectiva.

BIBLIOGRAFIA

Arai, K., Majima, H., y Izaki, T., (1979), J. Min. Met. Inst. Japan 95, pp. 359, Citado en Kobayashi et al., (1990),

Awakura, s., Kamel., y Majima H., (1980), Metallurgical Transactions, 11B, pp. 377-81. Citado en Kobayashi et al, (1990),

Bromley, L.A., (1973), "Thermodynamic Properties of Strong Electrolytes in Aqueous Solutions", AIChE Journal, 19, pp. 313-320.

Dutrizac, J.E., (1986), "The Dissolution of Galena in Ferric Chloride Media", Metallurgical Transactions, 17B pp. 5-17.

Dutrizac, J.E., (1989), "The Leaching of Galena in Cupric Chloride Media", Metallurgical Transactions, 20B, pp. 475-483.

Dutrizac, J.E., (1991), "The Leaching of Sulphide Minerals in Chloride media", Hydrometallurgy, 29, pp. 1-45.

Fuerstenau, M.C., Chen, C.C., Han, K.N. y Palmer, B.R., (1986) "Kinetics of Galena Dissolution in Ferric Chloride Solutions", Metallurgical Transactions, 17B, pp. 415-423.

Fuerstenau, M.C., Nebo, C.O., Elango, B.V., y Han, K.N., (1987) "The Kinetics of Leaching Galena whit Ferric Nitrate", Metallurgical Transactions, B, pp. 25-29.

Haver, F.P., y Wong, M.M., (1976), United States Bureau of Mines, Report of Investigations 8105.

Helgeson, H.C., (1969), "Thermodynamics of Hydrothermal Systems at Elevated Temperatures and Pressures", American Journal of Science, 267, pp. 729-804.

Kim, S.H., Henein, H., y Warren, G.W., (1986), "An Investigation of the Thermodynamics and Kinetics of Ferric Chloride Brine Leaching of Galena Concentrate", Metallurgical Transactions, 17B, pp. 29-37.

Kim S.S., y Kim, J., (1986), Korean Metallurgical Society, 18, 586-592. Citado en Kobayashi et al, (1990).

Kobayashy, M., Dutrizac J.E., y Toguri J.M., (1990), "A Critical Review of The Ferric Chloride Leaching of Galenas", Canadian Metallurgical Quartely, 29, pp. 201-211.

Kunishige, M., Habashi, f., (1984), "Aqueous oxidation of lead sulphide concentrate in hydrochloric acid", Trans. Instn. Min. Metall., C, pp C69-C73.

Lapidus, G. y Mosqueira, M.L., (1988), "The Effect of Product Solubility on Leaching Kinetics of Non-Porous Minerals", Hydrometallurgy, 20, pp. 49-64.

Lapidus, G. T., (1991), "Modelación matemática de la Lixiviación de Oro y Plata con Cianuro en Partículas Minerales", Tesis Doctoral, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, D.F., México.

Lapidus, G., (1992), "Mathematical Modelling of Metal Leaching in Non-Porous Minerals ", Chemical Engineering, Science 47 , pp. 1933-1941.

Levenspiel, O., (1972), Chemical Reaction Engineering, 2da. Edition, John Wiley y Sons, Inc., New York, pp. 361-377.

Martell, A. E., y Smith, R.M. (1976), "Critical Stability Constants", Vol.4, Editorial Plenum Press, New York.

Morin, D., Gaunand, A. y Renon, H. (1985), "Representation of The Kinetics of Leaching of Galena By Chloride in Concentrated Sodium Chloride Solutions By Modified Mixed Kinetics Model", Metallurgical Transaction, 16B, pp. 31-39.

Rath, P.C., Paramguru, R.K., y Jena, P.K., Trans. IMM C97, C159 (1988), Transactions, 11B, pp. 377-81. Citado en Kobayashi et al, (1990),

Núñez, C., Espiell, F. y García-Zayas, J., (1988), "Kinetics of Nonoxidative Leaching of Galena in Perchloric, Hydrobromic, and Hydrochloric Acid Solutions", Metallurgical Transaction, 19B, pp. 541-546.

Peters, E., (1992), "Hydrometallurgical Process Innovation", Hydrometallurgy, 29, pp. 431-459.

Rubcumintara, T., y Han, K.N., (1990), "The Effect of Concentration and Temperature on Diffusivity of Metal Compounds ", Metallurgical Transactions, 21B, pp. 429-438.

Sohn, H.Y. y Baek, H.D., (1989), "The Mixed-Control Kinetics of Ferric Chloride Leaching of Galena", Metallurgical Transactions B, 20B, pp. 107-110.

Sohn, H.Y. y Wadsworth, M.E., (1986), Cinética de los Procesos de la Metalurgia Extractiva, 1era., Edición, Trillas, S.A. de C.V., México, D.F., pp. 167-170.

Subhasis, B., Acharya, H.Y., Banerjee, H.D. y Sircar, S.C., (1989), "Electrowinning Study of Galena Concentrate With a Carbon Fibre Bag Electrode", Hydrometallurgy, 22, pp. 273-279.

Tan, K.G., Bartels, y Bedard, P.L., (1987), "Lead Chloride Solubility and Density Data in Binary Aqueous Solutions ", Hydrometallurgy, 17, pp. 335-356.

Taylor, P.M., y Martines, G. P. (1983), "Modelling of Noncatalytic Fluid-Solid Reactions : The Quasi-Steady State Assumption ", Met. Trans. B, 14B (marzo), pp. 49-53.

Wadsworth, M.E., (1982), "Heterogeneous Rate Processes in the Leaching of Base Metal Sulphides", Hydrometallurgical Process Fundamentals NATO Advanced Research Institute, Cambridge pp 41-75

Warren, G.W., Kim, S., y Henein H. (1987), "The Effect of Chloride Ion on The Ferric Chloride Leaching of Galena Concentrate", Metallurgical Transactions, 18B, pp. 59-6

Winand, R., (1991), "Chloride Hydrometallurgy", Hydrometallurgy, 27 pp. 285-316.

Yagi, S. y Kunii (1955). Chemical Engineering, 19, pp.
500. Citado por Levenspiel, O. (1972).

APENDICE A.

En la tabla 4, se presenta un resumen de las condiciones empleadas para las simulaciones de las mismas. Posteriormente se presenta para cada experimento, una tabla de datos experimentales junto con la gráfica correspondiente, en donde se compara la cinética experimental por medio de círculos y la simulación hecha por el programa, por medio de una línea continua.

TABLA 4. CONDICIONES EXPERIMENTALES

EXP	g/L	FeCl ₃ (M)	NaCl(M)	HCl(M)	TEMP(K)	PAGINAS
1	5	0.02	0	0.10	303	50-52
2	5	0.05	0	0.10	303	53-55
3	5	0.10	0	0.10	303	56-58
4	5	0.15	0	0.10	303	59-61
5	5	0.20	0	0.06	303	62-64
6	5	0.25	0	0.10	303	65-68
7	5	0.30	0	0.10	303	69-71
8	5	0.30	0.5	0.060	303	72-75
9	5	0.30	1.0	0.022	303	76-78
10	3	0.30	1.0	0.030	303	79-81
11	3	0.025	1.0	0.045	303	82-84
12	1	0.010	0.0	0.160	303	85-87
13	5	0.050	0.0	0.100	328	88-90
14	5	0.050	0.0	0.010	328	91-93
15	10	0.100	0.5	0.150	328	94-96
16	10	0.100	1.0	0.000	328	97-100
17	10	0.100	2.0	0.075	328	101-103
18	10	0.100	3.0	0.075	328	104-105
19	20	0.300	3.0	0.100	328	106-108
20	30	0.450	3.0	0.000	328	109-111
21	50	0.770	3.0	0.000	328	112-114
22	5	0.050	0.0	0.100	353	115-117
23	5	0.050	0.0	0.010	353	118-120
24	5	0.050	0.0	0.000	353	121-123
25	50	0.770	1.0	0.000	353	124-125

APENDICE A: EXPERIMENTO 1

EXPERIMENTO 1

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO = 5

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

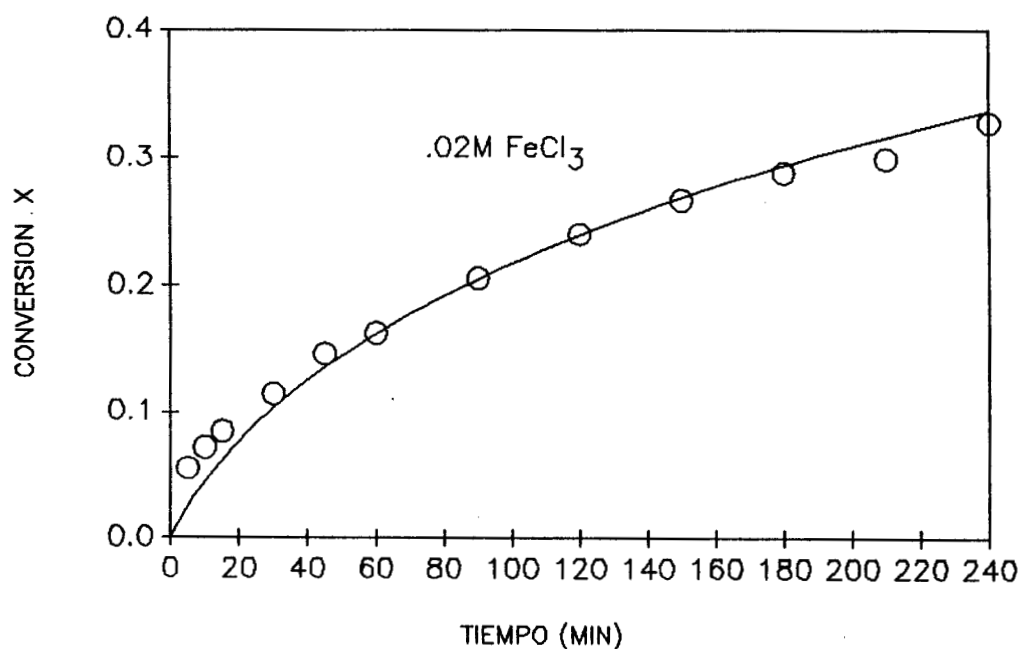
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .02M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM PLOMO	% PLOMO
1	5	5.112	5.5700
2	10	6.649	7.2200
3	15	7.828	8.4700
4	30	10.669	11.4400
5	45	13.712	14.5900
6	60	15.312	16.2100
7	90	19.610	20.5400
8	120	23.115	24.0100
9	150	25.819	26.6500
10	180	28.041	28.8000
11	210	29.290	29.9000
12	240	32.229	32.7500

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 1

EXPERIMENTO 1

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .020M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .124
 PH = 1.05
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = 30.00
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .200E-07
 CTE.CINETICA = .77E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.810E-02	.951E-02	.225E-02	.198E-04	.374E-07

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.119E-03	.170E-06	.257E-05	.486E-09

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
6.85	.9888E+00	.03313	.1529E-04	1.10	.3715E-03
18.25	.9760E+00	.07020	.2468E-04	1.10	.1696E-02
29.66	.9657E+00	.09952	.2950E-04	1.10	.3456E-02
41.07	.9568E+00	.12408	.3254E-04	1.10	.5437E-02
52.48	.9490E+00	.14538	.3468E-04	1.10	.7544E-02
63.89	.9419E+00	.16428	.3630E-04	1.10	.9723E-02

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.549E-02	.865E-02	.135E-01	.164E-01
PB 2+	.629E-02	.499E-02	.298E-02	.178E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
75.30	.9355E+00	.18131	.3759E-04	1.10	.1195E-01
86.70	.9295E+00	.19686	.3864E-04	1.10	.1420E-01
98.11	.9240E+00	.21118	.3952E-04	1.10	.1646E-01
109.52	.9188E+00	.22447	.4028E-04	1.10	.1873E-01
120.93	.9138E+00	.23688	.4094E-04	1.10	.2100E-01
132.34	.9092E+00	.24852	.4152E-04	1.10	.2326E-01
143.75	.9047E+00	.25951	.4204E-04	1.10	.2551E-01
155.15	.9005E+00	.26990	.4251E-04	1.10	.2776E-01
177.97	.8925E+00	.28916	.4332E-04	1.10	.3221E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 1

189.38 .8887E+00 .29813 .4368E-04 1.10 .3441E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
200.79	.8851E+00	.30671	.4400E-04	1.10	.3660E-01
212.20	.8815E+00	.31494	.4431E-04	1.10	.3877E-01
223.60	.8781E+00	.32284	.4459E-04	1.10	.4093E-01
235.01	.8748E+00	.33044	.4486E-04	1.10	.4307E-01
246.42	.8716E+00	.33776	.4511E-04	1.10	.4520E-01
257.83	.8685E+00	.34482	.4534E-04	1.10	.4731E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 2

EXPERIMENTO

2

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5.0

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .100M

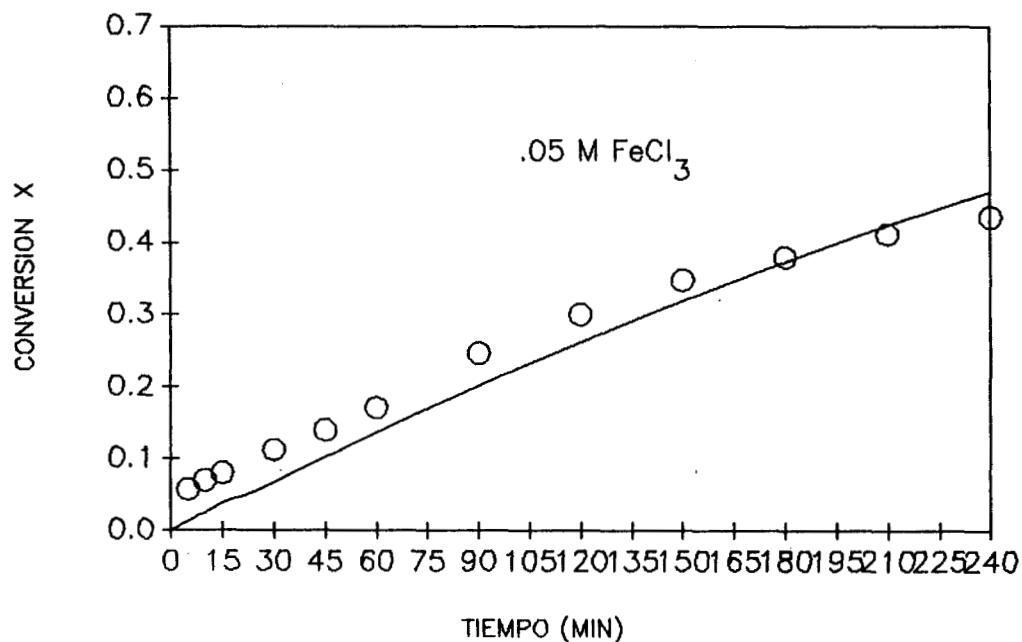
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM PLOMO	% PLOMO
1	5	5.071	5.78
2	10	6.244	7.02
3	15	7.165	8.05
4	30	10.093	11.27
5	45	12.620	14.04
6	60	15.463	17.12
7	90	22.503	24.69
8	120	27.500	30.02
9	150	31.980	34.76
10	180	34.982	37.90
11	210	38.091	41.13
12	240	40.446	43.52

VOLUMEN INICIAL DE SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 37.90 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 2

EXPERIMENTO 2

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .050M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .158
 PH = 1.06
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = .20
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .500E-06
 CTE.CINETICA= .51E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FECL+2	FEC12+	FECL3	FECL4-
.164E-01	.252E-01	.802E-02	.959E-04	.260E-06

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.228E-03	.331E-06	.110E-04	.445E-08

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.27	.9987E+00	.00394	.4416E-06	1.11	.5171E-05
.32	.9986E+00	.00406	.4559E-06	1.11	.5513E-05

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.499E-01	.499E-01	.499E-01	.499E-01
PB 2+	.509E-04	.490E-04	.460E-04	.441E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
3.51	.9957E+00	.01296	.1453E-05	1.11	.5629E-04
3.74	.9954E+00	.01359	.1523E-05	1.11	.6192E-04
4.20	.9950E+00	.01485	.1665E-05	1.11	.7400E-04
4.65	.9946E+00	.01611	.1806E-05	1.11	.8714E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.496E-01	.496E-01	.496E-01	.497E-01
PB 2+	.202E-03	.194E-03	.182E-03	.175E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
5.11	.9942E+00	.01737	.1946E-05	1.11	.1013E-03
6.02	.9933E+00	.01988	.2227E-05	1.11	.1329E-03
7.39	.9921E+00	.02363	.2647E-05	1.11	.1881E-03

APENDICE A: EXPERIMENTO 2

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
9.67	.9900E+00	.02984	.3341E-05	1.11	.3009E-03
10.13	.9895E+00	.03108	.3479E-05	1.11	.3266E-03
12.41	.9874E+00	.03723	.4165E-05	1.11	.4699E-03
14.69	.9853E+00	.04334	.4845E-05	1.11	.6384E-03
16.98	.9833E+00	.04940	.5519E-05	1.11	.8318E-03
21.54	.9791E+00	.06137	.6849E-05	1.11	.1291E-02
26.10	.9750E+00	.07316	.8156E-05	1.11	.1845E-02
30.67	.9709E+00	.08479	.9441E-05	1.11	.2491E-02
37.51	.9648E+00	.10188	.1133E-04	1.11	.3627E-02
44.36	.9588E+00	.11862	.1317E-04	1.11	.4956E-02
51.20	.9528E+00	.13500	.1496E-04	1.11	.6471E-02
58.05	.9469E+00	.15103	.1671E-04	1.11	.8164E-02
64.89	.9410E+00	.16673	.1842E-04	1.11	.1003E-01
71.74	.9352E+00	.18211	.2009E-04	1.11	.1206E-01
78.58	.9294E+00	.19717	.2172E-04	1.11	.1425E-01
85.43	.9237E+00	.21193	.2332E-04	1.11	.1658E-01
92.27	.9180E+00	.22639	.2487E-04	1.11	.1907E-01
99.12	.9124E+00	.24055	.2639E-04	1.11	.2170E-01
105.96	.9068E+00	.25443	.2788E-04	1.11	.2446E-01
112.81	.9012E+00	.26804	.2933E-04	1.11	.2735E-01
119.65	.8957E+00	.28138	.3075E-04	1.11	.3036E-01
126.50	.8902E+00	.29446	.3214E-04	1.11	.3350E-01
133.34	.8848E+00	.30729	.3350E-04	1.11	.3675E-01
140.19	.8794E+00	.31986	.3483E-04	1.11	.4011E-01
147.03	.8741E+00	.33220	.3613E-04	1.11	.4358E-01
153.88	.8688E+00	.34430	.3740E-04	1.11	.4715E-01
160.72	.8635E+00	.35617	.3865E-04	1.11	.5082E-01
167.57	.8583E+00	.36781	.3987E-04	1.11	.5458E-01
174.41	.8531E+00	.37924	.4106E-04	1.11	.5844E-01
181.26	.8479E+00	.39045	.4223E-04	1.11	.6238E-01
188.10	.8427E+00	.40146	.4337E-04	1.11	.6641E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.400E-01	.404E-01	.410E-01	.413E-01
PB 2+	.489E-02	.472E-02	.449E-02	.436E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
194.95	.8376E+00	.41226	.4449E-04	1.11	.7052E-01
201.79	.8326E+00	.42286	.4559E-04	1.11	.7470E-01
208.64	.8275E+00	.43327	.4666E-04	1.11	.7896E-01
215.48	.8225E+00	.44349	.4772E-04	1.11	.8330E-01
222.33	.8176E+00	.45352	.4875E-04	1.11	.8770E-01
229.17	.8126E+00	.46337	.4976E-04	1.11	.9217E-01
236.02	.8077E+00	.47305	.5075E-04	1.11	.9670E-01
242.86	.8028E+00	.48255	.5172E-04	1.11	.1013E+00
249.71	.7980E+00	.49189	.5267E-04	1.11	.1060E+00
256.55	.7931E+00	.50105	.5361E-04	1.11	.1107E+00

EXPERIMENTO 3

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5.0

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION HCl = .100M

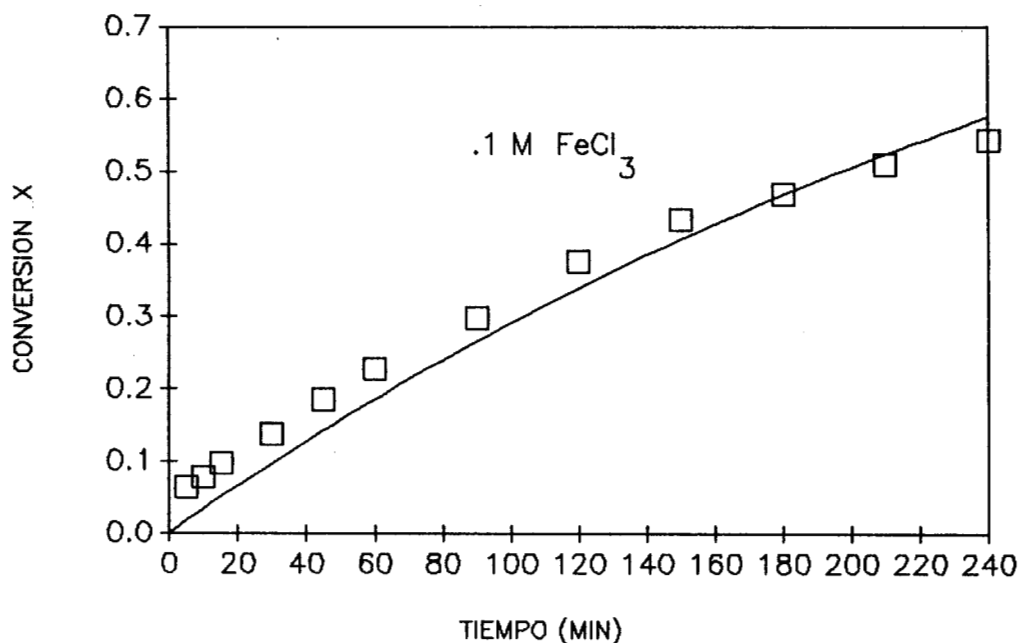
CONCENTRACION FeCl₃ = .10M

CONCENTRACION NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	5.682	6.37
2	10	6.952	7.78
3	15	8.769	9.78
4	30	12.493	13.81
5	45	17.001	18.63
6	60	10.458	22.76
7	90	13.844	29.84
8	120	17.567	37.55
9	150	20.373	43.31
10	180	22.106	46.82
11	210	24.119	50.85
12	240	25.861	54.29

VOLUMEN INICIAL DE SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 3

EXPERIMENTO 3

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .100M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .213
 PH = 1.07
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = .22
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
 CTE.CINETICA= .56E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FECL1+2	FECL2+	FECL3	FECL4-
.255E-01	.515E-01	.222E-01	.363E-03	.143E-05

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.333E-03	.505E-06	.280E-04	.187E-07

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.30	.9986E+00	.00408	.7933E-06	1.11	.5556E-05
.38	.9985E+00	.00436	.8479E-06	1.11	.6349E-05
.46	.9985E+00	.00464	.9026E-06	1.11	.7196E-05
.53	.9984E+00	.00492	.9572E-06	1.11	.8095E-05

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.999E-01	.999E-01	.999E-01	.999E-01
PB 2+	.715E-04	.665E-04	.584E-04	.535E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
5.25	.9925E+00	.02220	.4309E-05	1.11	.1659E-03
6.01	.9916E+00	.02495	.4843E-05	1.11	.2099E-03
6.77	.9907E+00	.02771	.5375E-05	1.11	.2591E-03
7.53	.9897E+00	.03045	.5906E-05	1.11	.3133E-03
8.29	.9888E+00	.03318	.6435E-05	1.11	.3726E-03
9.81	.9870E+00	.03863	.7488E-05	1.11	.5063E-03
10.57	.9860E+00	.04135	.8011E-05	1.11	.5806E-03
14.37	.9814E+00	.05478	.1060E-04	1.11	.1026E-02
25.78	.9676E+00	.09397	.1811E-04	1.11	.3073E-02
33.39	.9586E+00	.11922	.2292E-04	1.11	.5007E-02
44.80	.9451E+00	.15579	.2984E-04	1.11	.8707E-02
56.21	.9318E+00	.19095	.3645E-04	1.11	.1332E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 3

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.943E-01	.947E-01	.954E-01	.959E-01
PB 2+	.273E-02	.254E-02	.225E-02	.207E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
67.61	.9186E+00	.22477	.4276E-04	1.11	.1878E-01
79.02	.9056E+00	.25730	.4878E-04	1.11	.2505E-01
90.43	.8927E+00	.28860	.5454E-04	1.11	.3207E-01
101.84	.8799E+00	.31872	.6005E-04	1.11	.3980E-01
113.25	.8673E+00	.34771	.6531E-04	1.11	.4819E-01
124.66	.8547E+00	.37562	.7035E-04	1.11	.5720E-01
136.06	.8423E+00	.40250	.7517E-04	1.11	.6680E-01
147.47	.8299E+00	.42838	.7978E-04	1.11	.7694E-01
158.88	.8177E+00	.45330	.8419E-04	1.11	.8760E-01
170.29	.8055E+00	.47730	.8842E-04	1.11	.9874E-01
181.70	.7935E+00	.50042	.9247E-04	1.11	.1103E+00
193.11	.7815E+00	.52269	.9634E-04	1.11	.1224E+00
204.51	.7696E+00	.54414	.1001E-03	1.11	.1348E+00
215.92	.7578E+00	.56480	.1036E-03	1.11	.1476E+00
227.33	.7461E+00	.58470	.1070E-03	1.11	.1607E+00
238.74	.7344E+00	.60386	.1103E-03	1.11	.1741E+00
250.15	.7228E+00	.62232	.1134E-03	1.11	.1879E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 4

EXPERIMENTO 4

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO = 5

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

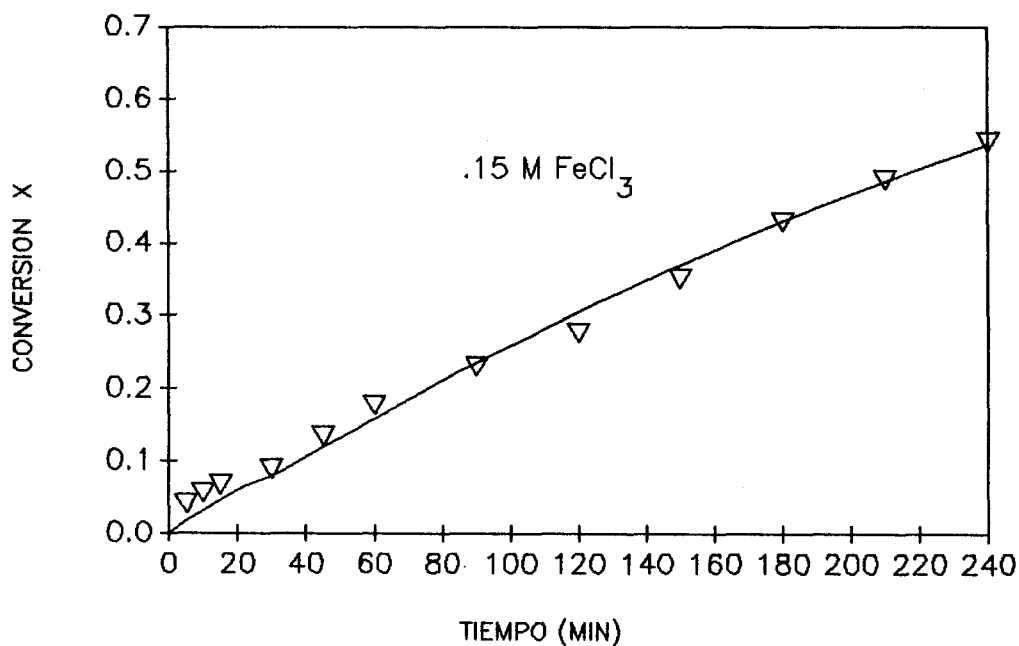
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .15M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	3.762	4.1900
2	10	5.102	5.6600
3	15	6.160	6.8100
4	30	8.107	8.9000
5	45	6.211	13.4400
6	60	8.313	17.8100
7	90	10.855	23.0200
8	120	13.146	27.6500
9	150	16.890	35.1000
10	180	20.855	42.8900
11	210	23.900	48.7800
12	240	26.662	54.0500

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 4

EXPERIMENTO 4

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .150M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .265
 PH = 1.08
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = .12
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
 CTE.CINETICA= .31E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.314E-01	.766E-01	.407E-01	.813E-03	.415E-05

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.396E-03	.628E-06	.445E-04	.381E-07

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.30	.9987E+00	.00396	.9203E-06	1.11	.5224E-05
.38	.9986E+00	.00419	.9739E-06	1.11	.5851E-05
.46	.9985E+00	.00442	.1027E-05	1.11	.6513E-05
.53	.9984E+00	.00465	.1081E-05	1.11	.7210E-05

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.150E+00	.150E+00	.150E+00	.150E+00
PB 2+	.644E-04	.605E-04	.543E-04	.504E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.61	.9984E+00	.00488	.1134E-05	1.11	.7943E-05
2.21	.9968E+00	.00970	.2255E-05	1.11	.3148E-04
4.49	.9945E+00	.01655	.3848E-05	1.11	.9198E-04
5.25	.9937E+00	.01882	.4376E-05	1.11	.1191E-03
9.05	.9899E+00	.03013	.7000E-05	1.11	.3068E-03
10.57	.9883E+00	.03462	.8041E-05	1.11	.4059E-03
14.37	.9845E+00	.04576	.1062E-04	1.11	.7127E-03
25.78	.9731E+00	.07851	.1819E-04	1.11	.2130E-02
33.39	.9656E+00	.09981	.2309E-04	1.11	.3477E-02
44.80	.9543E+00	.13094	.3024E-04	1.11	.6075E-02
56.21	.9431E+00	.16117	.3715E-04	1.11	.9344E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 4

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.145E+00	.146E+00	.146E+00	.146E+00
PB 2+	.222E-02	.208E-02	.187E-02	.175E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
67.61	.9320E+00	.19052	.4384E-04	1.11	.1325E-01
79.02	.9209E+00	.21902	.5030E-04	1.11	.1778E-01
90.43	.9099E+00	.24669	.5656E-04	1.11	.2289E-01
101.84	.8989E+00	.27356	.6262E-04	1.11	.2857E-01
113.25	.8880E+00	.29965	.6848E-04	1.11	.3479E-01
124.66	.8772E+00	.32499	.7414E-04	1.11	.4153E-01
136.06	.8664E+00	.34958	.7963E-04	1.11	.4876E-01
147.47	.8557E+00	.37346	.8493E-04	1.11	.5646E-01
158.88	.8450E+00	.39664	.9006E-04	1.11	.6462E-01
170.29	.8344E+00	.41914	.9503E-04	1.11	.7321E-01
181.70	.8238E+00	.44098	.9983E-04	1.11	.8222E-01
193.11	.8132E+00	.46217	.1045E-03	1.11	.9162E-01
204.51	.8027E+00	.48274	.1090E-03	1.11	.1014E+00
215.92	.7923E+00	.50270	.1133E-03	1.11	.1115E+00
227.33	.7819E+00	.52206	.1175E-03	1.11	.1220E+00
238.74	.7715E+00	.54085	.1216E-03	1.11	.1328E+00
250.15	.7611E+00	.55907	.1255E-03	1.11	.1439E+00

PRECIPITACION DE PBC12

APENDICE A: EXPERIMENTO 5

EXPERIMENTO 5

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .06M

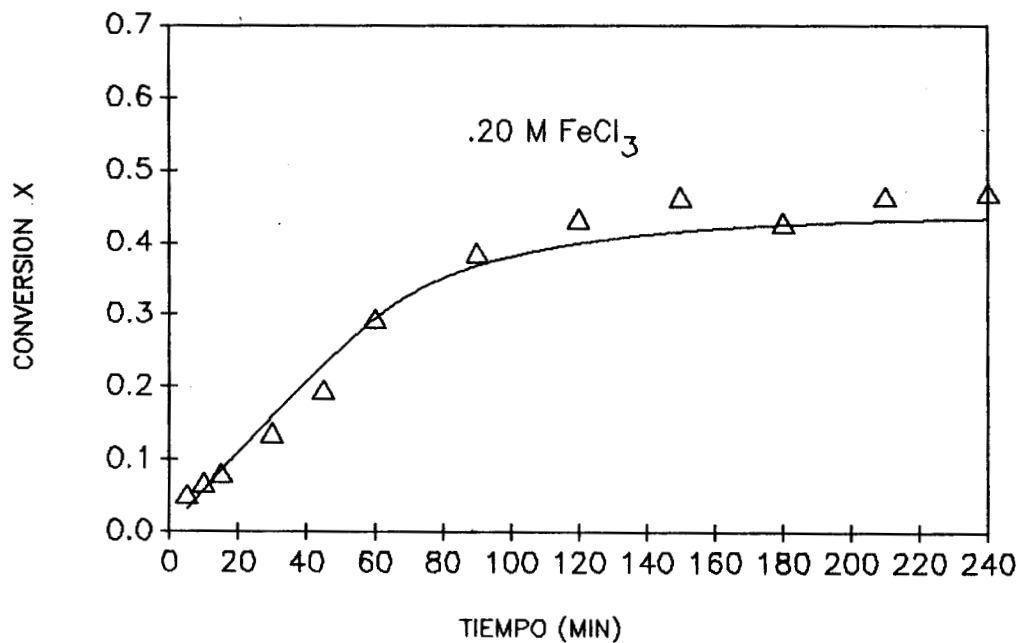
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .20M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	1.69	5.1525
2	10	2.24	6.8294
3	15	2.65	8.1067
4	30	4.47	13.6284
5	45	6.40	19.5128
6	60	9.64	29.3911
7	90	12.65	38.6007
8	120	14.22	43.3914
9	150	15.17	46.3682
10	180	14.06	42.8310
11	210	15.24	46.4257
12	240	15.44	46.9557

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 5

DE EXPERIMENTO 5

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 303 °K
HCl = .060M
FECL3 = .200M
NaCl = .0M
% PB = 64.91

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .278
PH = 1.29
POROSIDAD = .2567
Damkholer = .25
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
CTE.CINETICA= .64E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.373E-01	.101E+00	.595E-01	.132E-02	.753E-05

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.769E-03	.203E-05	.172E-03	.476E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.38	.9984E+00	.00483	.2104E-05	1.33	.7791E-05
.46	.9982E+00	.00526	.2291E-05	1.33	.9238E-05
.53	.9981E+00	.00569	.2478E-05	1.33	.1081E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.200E+00	.200E+00	.200E+00	.200E+00
PB 2+	.136E-03	.123E-03	.102E-03	.891E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.61	.9980E+00	.00612	.2664E-05	1.33	.1250E-04
2.21	.9950E+00	.01507	.6560E-05	1.33	.7625E-04
3.73	.9921E+00	.02353	.1023E-04	1.33	.1866E-03
4.87	.9900E+00	.02984	.1296E-04	1.33	.3008E-03
5.25	.9892E+00	.03193	.1387E-04	1.33	.3447E-03
10.57	.9793E+00	.06079	.2632E-04	1.33	.1266E-02
11.33	.9779E+00	.06484	.2807E-04	1.33	.1444E-02
12.85	.9751E+00	.07291	.3153E-04	1.33	.1832E-02
14.37	.9723E+00	.08092	.3496E-04	1.33	.2265E-02
15.14	.9709E+00	.08490	.3666E-04	1.33	.2498E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 5

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.196E+00	.196E+00	.197E+00	.197E+00
PB 2+	.202E-02	.183E-02	.152E-02	.133E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
15.90	.9695E+00	.08886	.3836E-04	1.33	.2742E-02
19.70	.9625E+00	.10845	.4671E-04	1.33	.4122E-02
20.46	.9611E+00	.11232	.4835E-04	1.33	.4430E-02
25.78	.9513E+00	.13900	.5966E-04	1.33	.6874E-02
39.47	.9266E+00	.20437	.8706E-04	1.33	.1536E-01
40.23	.9253E+00	.20787	.8851E-04	1.33	.1592E-01
45.56	.9158E+00	.23200	.9851E-04	1.33	.2009E-01
46.32	.9144E+00	.23540	.9991E-04	1.33	.2072E-01
47.08	.9131E+00	.23878	.1013E-03	1.33	.2136E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.188E+00	.189E+00	.191E+00	.193E+00
PB 2+	.561E-02	.506E-02	.422E-02	.374E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
48.60	.9104E+00	.24550	.1041E-03	1.33	.2266E-01
55.44	.8983E+00	.27513	.1162E-03	1.33	.2893E-01
59.25	.8916E+00	.29116	.1228E-03	1.33	.3269E-01
60.01	.8903E+00	.29433	.1241E-03	1.33	.3346E-01
PRECIPITACION DE PBCl2					
60.77	.8890E+00	.29736	.1237E-03	1.33	.3422E-01
63.81	.8843E+00	.30856	.1237E-03	1.33	.3708E-01
71.42	.8745E+00	.33133	.1237E-03	1.33	.4333E-01
80.54	.8654E+00	.35184	.1237E-03	1.33	.4946E-01
90.43	.8579E+00	.36858	.1237E-03	1.33	.5483E-01
100.32	.8520E+00	.38143	.1237E-03	1.33	.5919E-01
110.20	.8474E+00	.39154	.1237E-03	1.33	.6277E-01
120.09	.8436E+00	.39961	.1237E-03	1.33	.6572E-01
130.74	.8403E+00	.40658	.1237E-03	1.33	.6834E-01
140.63	.8379E+00	.41182	.1237E-03	1.33	.7035E-01
150.51	.8358E+00	.41614	.1237E-03	1.33	.7203E-01
160.40	.8341E+00	.41970	.1237E-03	1.33	.7344E-01
170.29	.8327E+00	.42266	.1237E-03	1.33	.7462E-01
180.18	.8315E+00	.42513	.1237E-03	1.33	.7562E-01
190.06	.8305E+00	.42720	.1237E-03	1.33	.7646E-01
200.71	.8296E+00	.42905	.1237E-03	1.33	.7722E-01
210.60	.8289E+00	.43049	.1237E-03	1.33	.7781E-01
220.49	.8283E+00	.43169	.1237E-03	1.33	.7831E-01
230.37	.8278E+00	.43271	.1237E-03	1.33	.7873E-01
240.26	.8274E+00	.43357	.1237E-03	1.33	.7909E-01
250.15	.8270E+00	.43430	.1237E-03	1.33	.7939E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 6

EXPERIMENTO 6

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

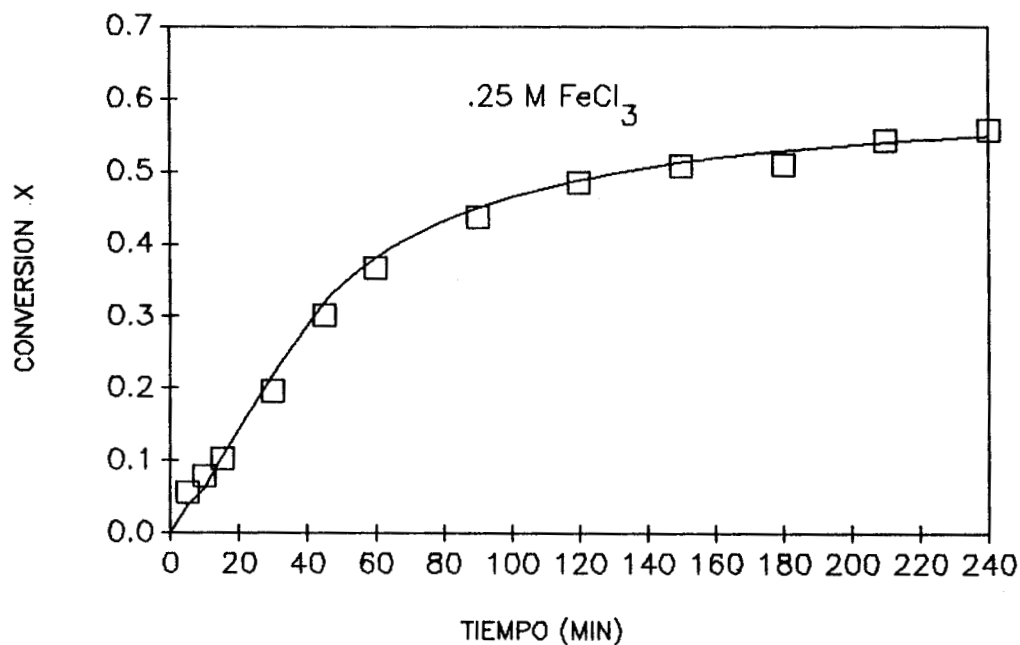
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .25M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	5.023	5.6400
2	10	6.969	7.8200
3	15	9.260	10.3700
4	30	17.642	19.6600
5	45	13.813	30.1300
6	60	16.857	36.6100
7	90	20.224	43.7100
8	120	22.480	48.4200
9	150	23.630	50.7800
10	180	23.705	50.9400
11	210	25.332	54.2000
12	240	26.036	55.5900

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



EXPERIMENTO 6

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .250M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .367
 PH = 1.08
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = .25
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .250E-06
 CTE.CINETICA= .64E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.382E-01	.122E+00	.866E-01	.225E-02	.163E-04

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.465E-03	.809E-06	.707E-04	.766E-07

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.37	.9981E+00	.00569	.2539E-05	1.12	.1082E-04
.46	.9978E+00	.00649	.2896E-05	1.12	.1407E-04
.55	.9976E+00	.00729	.3251E-05	1.12	.1775E-04
.64	.9973E+00	.00808	.3606E-05	1.12	.2186E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.250E+00	.250E+00	.250E+00	.250E+00
PB 2+	.172E-03	.149E-03	.111E-03	.878E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.73	.9970E+00	.00888	.3961E-05	1.12	.2639E-04
.82	.9968E+00	.00968	.4316E-05	1.12	.3134E-04
2.37	.9922E+00	.02312	.1030E-04	1.12	.1800E-03
4.65	.9856E+00	.04260	.1894E-04	1.12	.6168E-03
5.11	.9843E+00	.04646	.2065E-04	1.12	.7348E-03
6.94	.9790E+00	.06175	.2740E-04	1.12	.1307E-02
8.76	.9737E+00	.07684	.3404E-04	1.12	.2039E-02
9.67	.9711E+00	.08431	.3732E-04	1.12	.2463E-02
10.59	.9684E+00	.09172	.4057E-04	1.12	.2925E-02
11.50	.9658E+00	.09909	.4379E-04	1.12	.3426E-02
12.41	.9632E+00	.10640	.4699E-04	1.12	.3964E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 6

13.32	.9606E+00	.11367	.5015E-04	1.12	.4540E-02
14.24	.9580E+00	.12089	.5330E-04	1.12	.5153E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
15.15	.9554E+00	.12805	.5641E-04	1.12	.5802E-02
16.98	.9501E+00	.14224	.6257E-04	1.12	.7210E-02
17.89	.9475E+00	.14927	.6561E-04	1.12	.7967E-02
18.80	.9449E+00	.15624	.6862E-04	1.12	.8760E-02
19.71	.9424E+00	.16317	.7161E-04	1.12	.9587E-02
20.63	.9398E+00	.17005	.7457E-04	1.12	.1045E-01
21.54	.9372E+00	.17689	.7751E-04	1.12	.1135E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.242E+00	.243E+00	.245E+00	.246E+00
PB 2+	.370E-02	.319E-02	.239E-02	.192E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
22.45	.9346E+00	.18368	.8043E-04	1.12	.1228E-01
29.75	.9140E+00	.23636	.1029E-03	1.12	.2090E-01
30.67	.9115E+00	.24274	.1056E-03	1.12	.2212E-01
39.79	.8861E+00	.30428	.1314E-03	1.12	.3597E-01

PRECIPITACION DE PBCl₂

40.70	.8837E+00	.30981	.1295E-03	1.12	.3741E-01
45.27	.8731E+00	.33434	.1295E-03	1.12	.4420E-01
50.74	.8624E+00	.35852	.1295E-03	1.12	.5156E-01
58.96	.8493E+00	.38746	.1295E-03	1.12	.6131E-01
59.87	.8480E+00	.39027	.1295E-03	1.12	.6231E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.237E+00	.238E+00	.240E+00	.242E+00
PB 2+	.619E-02	.559E-02	.472E-02	.424E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
60.78	.8467E+00	.39300	.1295E-03	1.12	.6330E-01
70.82	.8343E+00	.41920	.1295E-03	1.12	.7324E-01
90.90	.8159E+00	.45684	.1295E-03	1.12	.8919E-01
100.03	.8094E+00	.46970	.1295E-03	1.12	.9512E-01
114.63	.8008E+00	.48655	.1295E-03	1.12	.1033E+00
122.84	.7966E+00	.49446	.1295E-03	1.12	.1073E+00
131.06	.7929E+00	.50147	.1295E-03	1.12	.1109E+00
140.19	.7893E+00	.50836	.1295E-03	1.12	.1145E+00
150.22	.7857E+00	.51501	.1295E-03	1.12	.1181E+00
161.18	.7822E+00	.52134	.1295E-03	1.12	.1216E+00
170.30	.7797E+00	.52599	.1295E-03	1.12	.1242E+00
200.42	.7730E+00	.53816	.1295E-03	1.12	.1312E+00
211.37	.7710E+00	.54163	.1295E-03	1.12	.1333E+00
219.59	.7697E+00	.54398	.1295E-03	1.12	.1347E+00
220.50	.7696E+00	.54422	.1295E-03	1.12	.1348E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 6

240.58	.7668E+00	.54909	.1295E-03	1.12	.1378E+0
249.71	.7658E+00	.55098	.1295E-03	1.12	.1389E+00
250.62	.7657E+00	.55116	.1295E-03	1.12	.1390E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 7

EXPERIMENTO 7

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

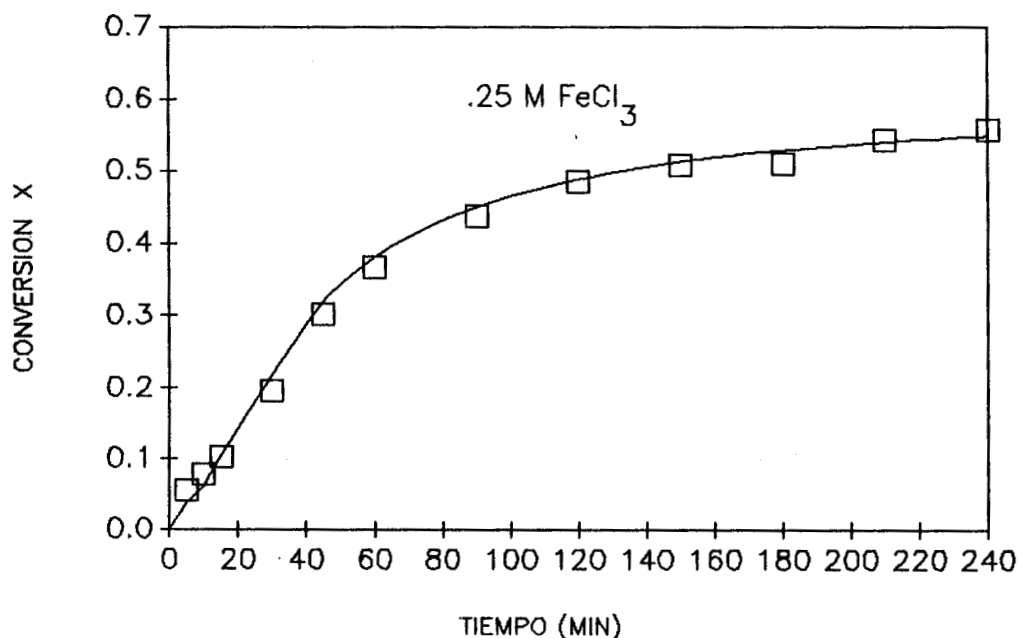
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .30M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	3.754	4.1900
2	10	5.468	6.0900
3	15	7.383	8.1800
4	30	17.536	19.2900
5	45	17.815	30.3500
6	60	18.290	39.1200
7	90	21.892	46.6100
8	120	24.131	51.2100
9	150	24.209	51.3700
10	180	22.967	48.4300
11	210	22.967	48.8800
12	240	24.219	51.2900

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



EXPERIMENTO 7

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 303 °K
HCl = .100M
FECL3 = .300M
NaCl = .0M
% PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .417
PH = 1.08
POROSIDAD = .1723
Damkholer = .18
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
CTE.CINETICA= .46E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.401E-01	.143E+00	.113E+00	.322E-02	.268E-04
FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5	
.484E-03	.881E-06	.803E-04	.918E-07	

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.38	.9980E+00	.00606	.2656E-05	1.12	.1226E-04
.46	.9977E+00	.00675	.2958E-05	1.12	.1522E-04
.53	.9975E+00	.00744	.3260E-05	1.12	.1849E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.300E+00	.300E+00	.300E+00	.300E+00
PB 2+	.148E-03	.129E-03	.992E-04	.807E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.61	.9973E+00	.00812	.3562E-05	1.12	.2208E-04
.68	.9971E+00	.00881	.3863E-05	1.12	.2599E-04
.76	.9968E+00	.00950	.4165E-05	1.12	.3021E-04
.91	.9964E+00	.01088	.4767E-05	1.12	.3961E-04
.99	.9961E+00	.01156	.5068E-05	1.12	.4479E-04
1.83	.9936E+00	.01909	.8363E-05	1.12	.1225E-03
2.21	.9924E+00	.02250	.9853E-05	1.12	.1704E-03
4.87	.9844E+00	.04607	.2014E-04	1.12	.7225E-03
5.25	.9833E+00	.04941	.2159E-04	1.12	.8320E-03
6.77	.9787E+00	.06263	.2735E-04	1.12	.1345E-02
7.53	.9764E+00	.06919	.3020E-04	1.12	.1647E-02
8.29	.9741E+00	.07571	.3303E-04	1.12	.1978E-02
9.81	.9695E+00	.08864	.3863E-04	1.12	.2728E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 7

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
10.57	.9673E+00	.09505	.4140E-04	1.12	.3146E-02
14.37	.9559E+00	.12651	.5497E-04	1.12	.5659E-02
18.18	.9446E+00	.15710	.6810E-04	1.12	.8861E-02
25.78	.9222E+00	.21564	.9304E-04	1.12	.1720E-01
33.39	.9000E+00	.27097	.1164E-03	1.12	.2799E-01
44.80	.8671E+00	.34815	.1485E-03	1.12	.4832E-01
PRECIPITACION DE PBCl2					
56.21	.8493E+00	.38744	.1318E-03	1.12	.6130E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.287E+00	.289E+00	.291E+00	.292E+00
PB 2+	.598E-02	.543E-02	.464E-02	.421E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
67.61	.8356E+00	.41646	.1318E-03	1.12	.7216E-01
79.02	.8248E+00	.43881	.1318E-03	1.12	.8129E-01
90.43	.8161E+00	.45650	.1318E-03	1.12	.8904E-01
101.84	.8089E+00	.47080	.1318E-03	1.12	.9564E-01
113.25	.8028E+00	.48253	.1318E-03	1.12	.1013E+00
124.66	.7978E+00	.49226	.1318E-03	1.12	.1061E+00
136.06	.7935E+00	.50042	.1318E-03	1.12	.1103E+00
147.47	.7898E+00	.50731	.1318E-03	1.12	.1140E+00
158.88	.7867E+00	.51316	.1318E-03	1.12	.1171E+00
170.29	.7840E+00	.51816	.1318E-03	1.12	.1198E+00
181.70	.7816E+00	.52245	.1318E-03	1.12	.1222E+00
193.11	.7796E+00	.52614	.1318E-03	1.12	.1243E+00
204.51	.7779E+00	.52933	.1318E-03	1.12	.1261E+00
215.92	.7763E+00	.53208	.1318E-03	1.12	.1277E+00
227.33	.7750E+00	.53447	.1318E-03	1.12	.1291E+00
238.74	.7739E+00	.53655	.1318E-03	1.12	.1303E+00
250.15	.7729E+00	.53836	.1318E-03	1.12	.1313E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 8

EXPERIMENTO

8

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5.0

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .060M

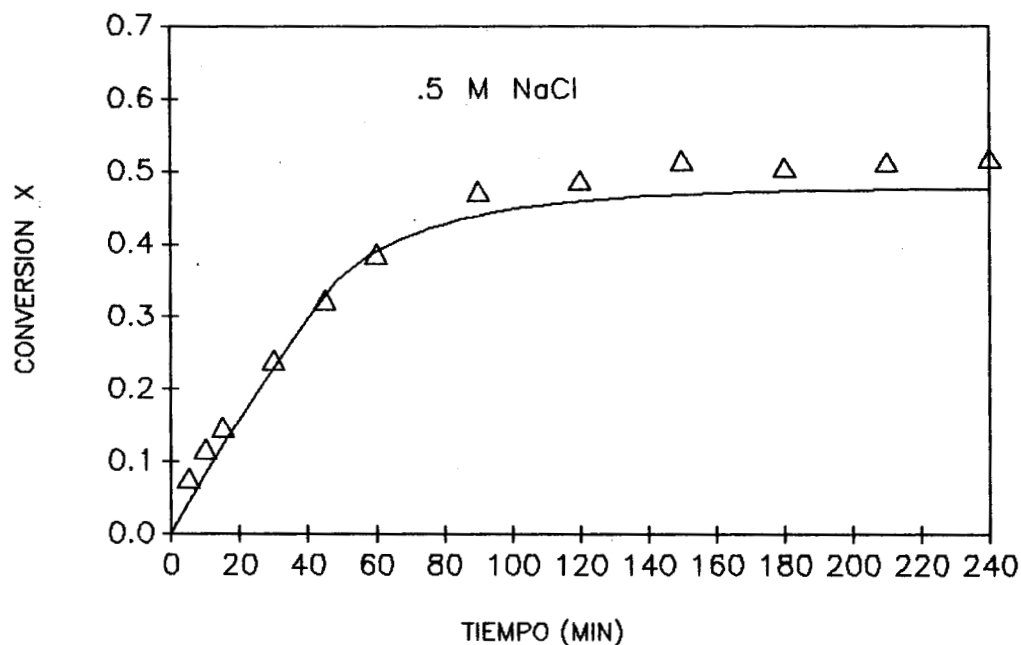
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .300M

CONCENTRACION DE NaCl = .5M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	2.26	15.43
2	10	3.44	23.49
3	15	4.31	29.43
4	30	3.52	24.03
5	45	4.73	32.29
6	60	5.65	38.57
7	90	6.92	47.24
8	120	7.13	48.68
9	150	7.54	51.48
10	180	7.39	50.45
11	210	7.49	51.14
12	240	7.57	51.68

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 56.85 %



EXPERIMENTO 8

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .060M
 FECL3 = .300M
 NaCl = .5M
 % PB = 56.85

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .865
 PH = 1.27
 POROSIDAD = .2223
 Damkholer = .13
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .500E-06
 CTE.CINETICA= .33E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.214E-01	.123E+00	.149E+00	.591E-02	.855E-04

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.420E-03	.169E-05	.711E-04	.102E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.18	.9985E+00	.00443	.1887E-05	1.32	.6563E-05
.23	.9984E+00	.00482	.2052E-05	1.32	.7759E-05
.27	.9983E+00	.00521	.2216E-05	1.32	.9054E-05
.32	.9981E+00	.00559	.2381E-05	1.32	.1045E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.300E+00	.300E+00	.300E+00	.300E+00
PB 2+	.113E-03	.103E-03	.867E-04	.767E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.37	.9980E+00	.00598	.2545E-05	1.32	.1194E-04
.41	.9979E+00	.00636	.2710E-05	1.32	.1354E-04
3.29	.9897E+00	.03044	.1295E-04	1.32	.3131E-03
4.65	.9859E+00	.04174	.1774E-04	1.32	.5917E-03

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.298E+00	.298E+00	.299E+00	.299E+00
PB 2+	.842E-03	.767E-03	.646E-03	.573E-03

APENDICE A: EXPERIMENTO 8

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
4.88	.9852E+00	.04361	.1854E-04	1.32	.6465E-03
TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
5.57	.9833E+00	.04921	.2092E-04	1.32	.8253E-03
6.02	.9820E+00	.05293	.2249E-04	1.32	.9564E-03
6.48	.9808E+00	.05663	.2406E-04	1.32	.1097E-02
7.85	.9769E+00	.06768	.2875E-04	1.32	.1575E-02
8.31	.9756E+00	.07134	.3030E-04	1.32	.1753E-02
9.67	.9718E+00	.08225	.3492E-04	1.32	.2342E-02
10.13	.9705E+00	.08587	.3645E-04	1.32	.2556E-02
12.41	.9641E+00	.10375	.4400E-04	1.32	.3764E-02
14.69	.9578E+00	.12135	.5143E-04	1.32	.5194E-02
16.98	.9515E+00	.13868	.5874E-04	1.32	.6841E-02
21.54	.9388E+00	.17249	.7295E-04	1.32	.1076E-01
26.10	.9263E+00	.20524	.8668E-04	1.32	.1550E-01
30.67	.9138E+00	.23698	.9994E-04	1.32	.2102E-01
37.51	.8952E+00	.28268	.1190E-03	1.32	.3067E-01
44.36	.8767E+00	.32625	.1370E-03	1.32	.4188E-01
51.20	.8583E+00	.36777	.1541E-03	1.32	.5457E-01
PRECIPITACION DE PBC12					
58.05	.8490E+00	.38809	.1378E-03	1.32	.6153E-01
64.89	.8416E+00	.40380	.1378E-03	1.32	.6728E-01
71.74	.8358E+00	.41621	.1378E-03	1.32	.7206E-01
78.58	.8310E+00	.42617	.1378E-03	1.32	.7604E-01
85.43	.8271E+00	.43425	.1378E-03	1.32	.7937E-01
92.27	.8238E+00	.44088	.1378E-03	1.32	.8218E-01
99.12	.8211E+00	.44635	.1378E-03	1.32	.8454E-01
105.96	.8189E+00	.45089	.1378E-03	1.32	.8653E-01
112.81	.8170E+00	.45468	.1378E-03	1.32	.8822E-01
119.65	.8154E+00	.45785	.1378E-03	1.32	.8964E-01
126.50	.8141E+00	.46051	.1378E-03	1.32	.9086E-01
133.34	.8129E+00	.46276	.1378E-03	1.32	.9189E-01
140.19	.8120E+00	.46465	.1378E-03	1.32	.9276E-01
153.88	.8105E+00	.46761	.1378E-03	1.32	.9414E-01
160.72	.8099E+00	.46876	.1378E-03	1.32	.9468E-01
167.57	.8094E+00	.46974	.1378E-03	1.32	.9514E-01
188.10	.8083E+00	.47187	.1378E-03	1.32	.9615E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.287E+00	.287E+00	.287E+00	.287E+00
PB 2+	.652E-02	.651E-02	.648E-02	.647E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
194.95	.8081E+00	.47239	.1378E-03	1.32	.9639E-01
201.79	.8078E+00	.47282	.1378E-03	1.32	.9660E-01
208.64	.8076E+00	.47319	.1378E-03	1.32	.9677E-01
222.33	.8073E+00	.47378	.1378E-03	1.32	.9705E-01
229.17	.8072E+00	.47401	.1378E-03	1.32	.9716E-01
236.02	.8071E+00	.47421	.1378E-03	1.32	.9726E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 8

242.86	.8070E+00	.47438	.1378E-03	1.32	.9734E-0
249.71	.8070E+00	.47452	.1378E-03	1.32	.9741E-01
256.55	.8069E+00	.47464	.1378E-03	1.32	.9746E-01

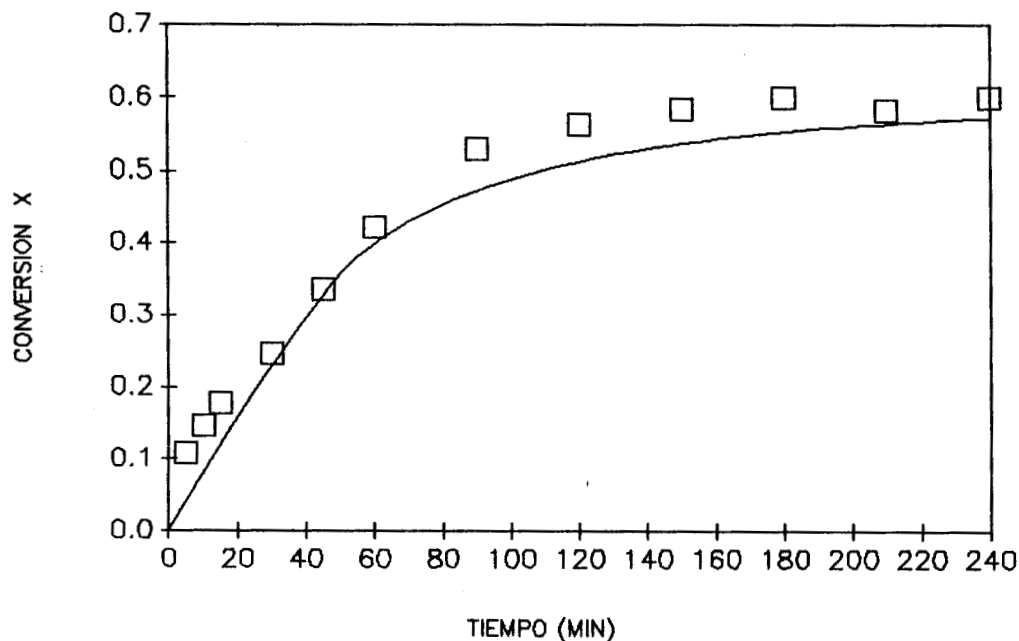
APENDICE A: EXPERIMENTO 9

EXPERIMENTO 9

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5.0
 TEMPERATURA = 303 °K
 CONCENTRACION DE HCl = .022M
 CONCENTRACION DE FeCl₃ = .300M
 CONCENTRACION DE NaCl = 1.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	1.64	10.77
2	10	2.24	14.71
3	15	2.71	17.80
4	30	3.75	24.69
5	45	5.10	33.52
6	60	6.42	42.19
7	90	8.04	52.90
8	120	8.55	56.33
9	150	8.85	58.34
10	180	9.12	60.05
11	210	8.85	58.27
12	240	9.12	59.97

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.
 BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 59.64 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 9

EXPERIMENTO 9

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 303 °K
 HCl = .022M
 FECL3 = .300M
 NaCl = 1.0M
 % PB = 59.64

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =1.319
 PH = 1.63
 POROSIDAD =.2342
 Damkholer = .23
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
 CTE.CINETICA= .59E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.124E-01	.104E+00	.173E+00	.916E-02	.196E-03

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.596E-03	.728E-05	.173E-03	.761E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.30	.9983E+00	.00524	.2094E-05	1.70	.9159E-05
.38	.9980E+00	.00588	.2353E-05	1.70	.1157E-04
.46	.9978E+00	.00653	.2613E-05	1.70	.1427E-04
.53	.9976E+00	.00718	.2872E-05	1.70	.1724E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.300E+00	.300E+00	.300E+00	.300E+00
PB 2+	.186E-03	.163E-03	.126E-03	.103E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.61	.9974E+00	.00783	.3130E-05	1.70	.2050E-04
2.59	.9918E+00	.02453	.9800E-05	1.70	.2028E-03
5.25	.9842E+00	.04664	.1861E-04	1.70	.7405E-03
9.05	.9735E+00	.07748	.3084E-04	1.70	.2073E-02
10.57	.9692E+00	.08957	.3563E-04	1.70	.2787E-02
14.37	.9586E+00	.11917	.4731E-04	1.70	.5004E-02
18.18	.9480E+00	.14797	.5863E-04	1.70	.7824E-02
25.78	.9271E+00	.20309	.8017E-04	1.70	.1516E-01
33.39	.9064E+00	.25529	.1004E-03	1.70	.2463E-01
44.80	.8758E+00	.32825	.1284E-03	1.70	.4245E-01
56.21	.8456E+00	.39547	.1538E-03	1.70	.6419E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 9

PRECIPITACION DE PBC12
PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.278E+00	.282E+00	.286E+00	.289E+00
PB 2+	.988E-02	.857E-02	.671E-02	.569E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
67.61	.8299E+00	.42838	.1324E-03	1.70	.7694E-01
79.02	.8174E+00	.45376	.1324E-03	1.70	.8781E-01
90.43	.8073E+00	.47394	.1324E-03	1.70	.9713E-01
101.84	.7988E+00	.49034	.1324E-03	1.70	.1052E+00
113.25	.7916E+00	.50388	.1324E-03	1.70	.1121E+00
124.66	.7856E+00	.51522	.1324E-03	1.70	.1182E+00
136.06	.7804E+00	.52480	.1324E-03	1.70	.1235E+00
147.47	.7759E+00	.53296	.1324E-03	1.70	.1282E+00
158.88	.7720E+00	.53997	.1324E-03	1.70	.1323E+00
170.29	.7686E+00	.54601	.1324E-03	1.70	.1359E+00
181.70	.7656E+00	.55126	.1324E-03	1.70	.1391E+00
193.11	.7630E+00	.55582	.1324E-03	1.70	.1419E+00
204.51	.7607E+00	.55980	.1324E-03	1.70	.1444E+00
215.92	.7587E+00	.56330	.1324E-03	1.70	.1466E+00
227.33	.7569E+00	.56636	.1324E-03	1.70	.1486E+00
238.74	.7553E+00	.56906	.1324E-03	1.70	.1503E+00
250.15	.7539E+00	.57144	.1324E-03	1.70	.1518E+00

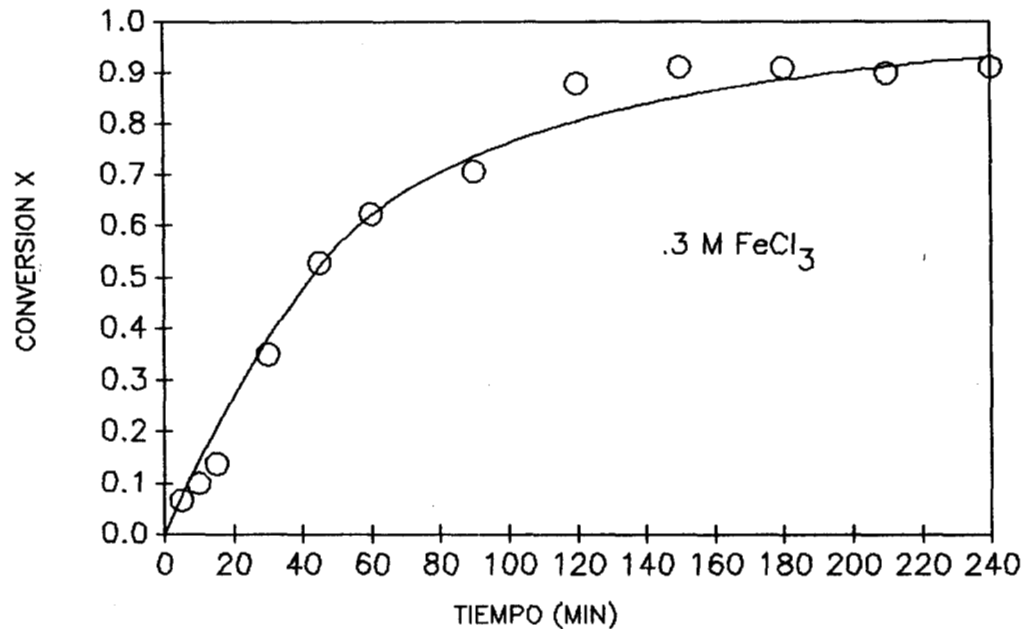
APENDICE A: EXPERIMENTO 10

EXPERIMENTO 10

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 3.0
 TEMPERATURA = 303 °K
 CONCENTRACION DE HCl = .030M
 CONCENTRACION DE FeCl₃ = .300M
 CONCENTRACION NaCl = 1.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	2.00	6.58
2	10	3.00	9.89
3	15	4.20	13.84
4	30	10.60	34.96
5	45	16.00	52.81
6	60	18.90	62.30
7	90	21.40	70.67
8	120	13.30	87.79
9	150	13.80	91.03
10	180	13.80	90.92
11	210	13.60	89.83
12	240	13.80	90.99

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL
 BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 49.90 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 10

EXPERIMENTO 10

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 3.0
TEMP = 303 °K
HCl = .030M
FECL3 = .300M
NaCl = 1.0M
% PB = 49.90

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =1.327
PH = 1.50
POROSIDAD =.1929
Damkholer = .20
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .500E-06
CTE.CINETICA= .51E-03

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FECL+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.123E-01	.104E+00	.174E+00	.923E-02	.199E-03

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.442E-03	.406E-05	.957E-04	.234E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.23	.9980E+00	.00603	.1595E-05	1.58	.1216E-04
.27	.9978E+00	.00672	.1776E-05	1.58	.1508E-04
.32	.9975E+00	.00740	.1957E-05	1.58	.1831E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.300E+00	.300E+00	.300E+00	.300E+00
PB 2+	.127E-03	.107E-03	.739E-04	.535E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.37	.9973E+00	.00808	.2137E-05	1.58	.2186E-04
.46	.9968E+00	.00945	.2498E-05	1.58	.2989E-04
.50	.9966E+00	.01013	.2679E-05	1.58	.3437E-04
.78	.9952E+00	.01422	.3758E-05	1.58	.6782E-04
.82	.9950E+00	.01490	.3938E-05	1.58	.7449E-04
.91	.9946E+00	.01626	.4297E-05	1.58	.8874E-04
1.92	.9895E+00	.03110	.8213E-05	1.58	.3270E-03
2.14	.9884E+00	.03445	.9095E-05	1.58	.4018E-03
2.83	.9850E+00	.04444	.1173E-04	1.58	.6718E-03
3.06	.9838E+00	.04776	.1260E-04	1.58	.7768E-03
3.97	.9793E+00	.06092	.1605E-04	1.58	.1272E-02
4.65	.9759E+00	.07069	.1862E-04	1.58	.1720E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 10

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.297E+00	.298E+00	.299E+00	.299E+00
PB 2+	.121E-02	.101E-02	.701E-03	.511E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
4.88	.9747E+00	.07393	.1947E-04	1.58	.1885E-02
5.57	.9713E+00	.08360	.2200E-04	1.58	.2421E-02
6.48	.9668E+00	.09636	.2534E-04	1.58	.3236E-02
7.39	.9623E+00	.10899	.2863E-04	1.58	.4165E-02
8.76	.9555E+00	.12767	.3350E-04	1.58	.5767E-02
9.22	.9532E+00	.13383	.3510E-04	1.58	.6356E-02
10.13	.9487E+00	.14604	.3827E-04	1.58	.7615E-02
12.41	.9375E+00	.17595	.4601E-04	1.58	.1122E-01
14.69	.9264E+00	.20505	.5351E-04	1.58	.1547E-01
16.98	.9152E+00	.23335	.6077E-04	1.58	.2034E-01
21.54	.8931E+00	.28756	.7458E-04	1.58	.3182E-01
26.10	.8712E+00	.33882	.8752E-04	1.58	.4551E-01
30.67	.8494E+00	.38728	.9962E-04	1.58	.6125E-01
37.51	.8169E+00	.45488	.1163E-03	1.58	.8831E-01
44.36	.7847E+00	.51686	.1313E-03	1.58	.1191E+00
51.20	.7527E+00	.57357	.1448E-03	1.58	.1532E+00

PRECIPITACION DE PBCl2

58.05	.7289E+00	.61276	.1322E-03	1.58	.1807E+00
64.89	.7075E+00	.64584	.1322E-03	1.58	.2066E+00
71.74	.6880E+00	.67430	.1322E-03	1.58	.2313E+00
92.27	.6377E+00	.74064	.1322E-03	1.58	.2986E+00
105.96	.6090E+00	.77412	.1322E-03	1.58	.3391E+00
112.81	.5957E+00	.78858	.1322E-03	1.58	.3582E+00
119.65	.5830E+00	.80181	.1322E-03	1.58	.3766E+00
126.50	.5709E+00	.81395	.1322E-03	1.58	.3944E+00
140.19	.5479E+00	.83549	.1322E-03	1.58	.4283E+00
153.88	.5265E+00	.85403	.1322E-03	1.58	.4602E+00
160.72	.5163E+00	.86235	.1322E-03	1.58	.4755E+00
174.41	.4968E+00	.87742	.1322E-03	1.58	.5049E+00
181.26	.4873E+00	.88425	.1322E-03	1.58	.5190E+00
188.10	.4782E+00	.89068	.1322E-03	1.58	.5327E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.282E+00	.284E+00	.286E+00	.287E+00
PB 2+	.855E-02	.761E-02	.676E-02	.643E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
194.95	.4692E+00	.89672	.1322E-03	1.58	.5462E+00
201.79	.4604E+00	.90241	.1322E-03	1.58	.5593E+00
208.64	.4518E+00	.90778	.1322E-03	1.58	.5721E+00
229.17	.4269E+00	.92220	.1322E-03	1.58	.6089E+00
236.02	.4189E+00	.92650	.1322E-03	1.58	.6206E+00
256.55	.3955E+00	.93812	.1322E-03	1.58	.6544E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 11

EXPERIMENTO

11

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 3.0

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .045M

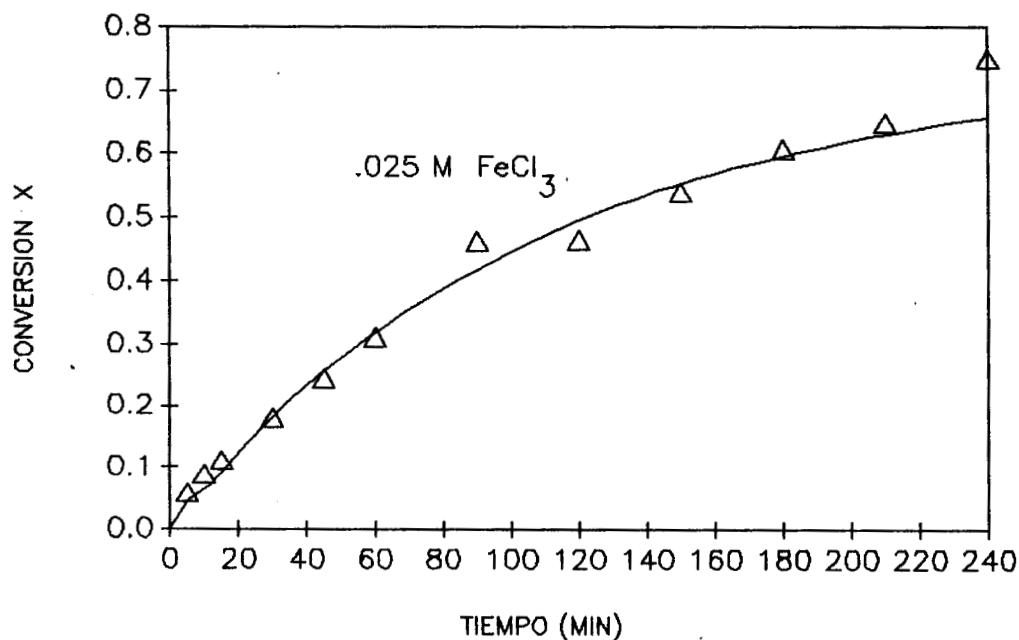
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .025M

CONCENTRACION DE NaCl = 1.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	1.88	5.86
2	10	2.86	8.91
3	15	3.55	11.07
4	30	5.77	17.98
5	45	7.84	24.48
6	60	9.97	31.07
7	90	14.83	36.13
8	120	14.82	46.27
9	150	17.26	53.89
10	180	19.42	60.52
11	210	20.73	64.69
12	240	26.02	74.95

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 53.02 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 11

EXPERIMENTO 11

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 3.0
TEMP = 303 °K
HCl = .045M
FECL3 = .025M
NaCl = 1.0M
% PB = 53.02

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =1.070
PH = 1.37
POROSIDAD =.2061
Damkholer = 4.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .200E-06
CTE.CINETICA= .10E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.162E-02	.101E-01	.127E-01	.517E-03	.811E-05

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.419E-04	.245E-06	.757E-06	.132E-09

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.57	.9975E+00	.00750	.3525E-05	1.43	.1884E-04
.68	.9971E+00	.00855	.4011E-05	1.43	.2447E-04
.80	.9968E+00	.00960	.4493E-05	1.43	.3083E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.245E-01	.246E-01	.247E-01	.249E-01
PB 2+	.230E-03	.187E-03	.117E-03	.737E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.91	.9964E+00	.01064	.4973E-05	1.43	.3790E-04
1.03	.9961E+00	.01168	.5450E-05	1.43	.4567E-04
2.74	.9910E+00	.02682	.1224E-04	1.43	.2426E-03
5.02	.9844E+00	.04604	.2045E-04	1.43	.7215E-03
8.44	.9751E+00	.07294	.3121E-04	1.43	.1833E-02
9.58	.9721E+00	.08147	.3447E-04	1.43	.2297E-02
10.72	.9691E+00	.08981	.3758E-04	1.43	.2802E-02
16.43	.9555E+00	.12775	.5091E-04	1.43	.5774E-02
27.84	.9314E+00	.19204	.7087E-04	1.43	.1348E-01
56.36	.8811E+00	.31608	.1022E-03	1.43	.3908E-01
73.47	.8553E+00	.37441	.1145E-03	1.43	.5679E-01
90.58	.8317E+00	.42477	.1242E-03	1.43	.7547E-01
107.69	.8098E+00	.46890	.1320E-03	1.43	.9474E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 11

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
124.81	.7894E+00	.50803	.1384E-03	1.43	.1143E+00
PRECIPITACION DE PBCl ₂					
141.92	.7723E+00	.53934	.1362E-03	1.43	.1319E+00
159.03	.7571E+00	.56595	.1362E-03	1.43	.1483E+00
176.14	.7435E+00	.58896	.1362E-03	1.43	.1636E+00
193.26	.7312E+00	.60913	.1362E-03	1.43	.1780E+00
210.37	.7198E+00	.62700	.1362E-03	1.43	.1915E+00
227.48	.7094E+00	.64297	.1362E-03	1.43	.2042E+00
244.59	.6998E+00	.65736	.1362E-03	1.43	.2163E+00
261.71	.6908E+00	.67040	.1362E-03	1.43	.2277E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 12

EXPERIMENTO

12

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 1.0

TEMPERATURA = 303 °K

CONCENTRACION DE HCl = .160M

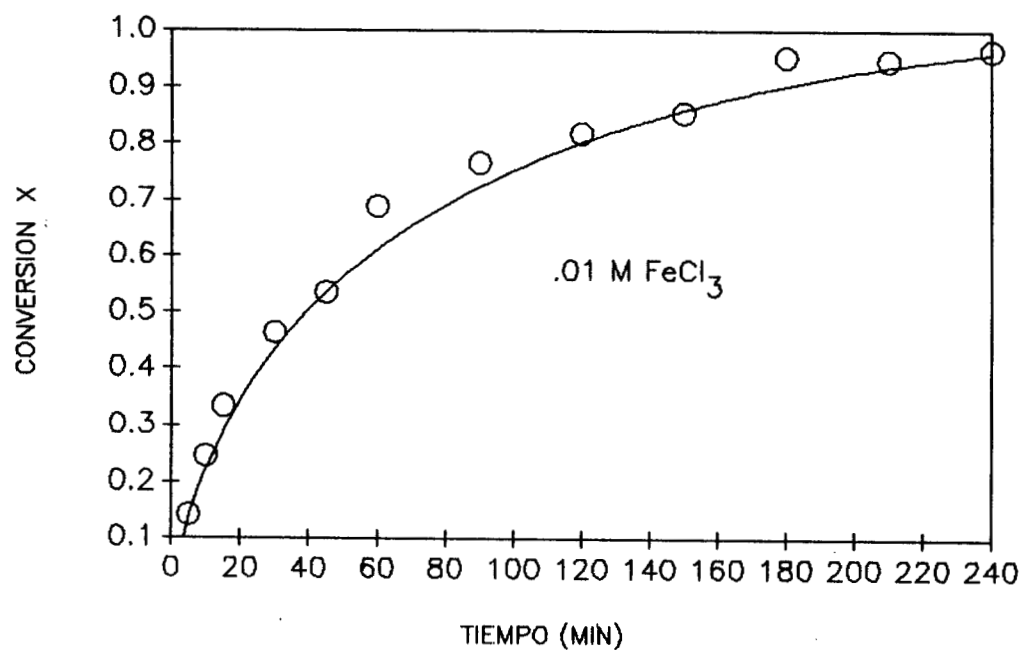
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .010M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	4.78	14.23
2	10	8.30	24.62
3	15	11.25	33.41
4	30	15.63	46.40
5	45	18.05	53.54
6	60	11.36	68.89
7	90	12.63	76.53
8	120	13.51	81.79
9	150	14.10	85.43
10	180	15.73	95.31
11	210	15.60	94.68
12	240	15.90	96.50

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 40.24 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 12

EXPERIMENTO 12

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 1.0
TEMP = 303 °K
HCl = .160M
FECL3 = .010M
NaCl = .0M
% PB = 40.20

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .172
PH = .86
POROSIDAD = .1523
Damkholer = 10.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .600E-06
CTE.CINETICA= .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.374E-02	.488E-02	.133E-02	.137E-04	.325E-07

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.320E-04	.294E-07	.228E-06	.838E-11

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.23	.9967E+00	.00997	.1412E-05	.91	.3329E-04
.27	.9962E+00	.01134	.1598E-05	.91	.4311E-04

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.952E-02	.964E-02	.984E-02	.996E-02
PB 2+	.202E-03	.152E-03	.716E-04	.220E-04

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.30	.9957E+00	.01271	.1780E-05	.91	.5413E-04
1.22	.9855E+00	.04298	.5402E-05	.91	.6277E-03
1.79	.9796E+00	.05986	.7118E-05	.91	.1227E-02
1.98	.9778E+00	.06522	.7625E-05	.91	.1461E-02
2.17	.9759E+00	.07047	.8105E-05	.91	.1709E-02
3.12	.9672E+00	.09511	.1017E-04	.91	.3150E-02

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.695E-02	.771E-02	.891E-02	.963E-02
PB 2+	.129E-02	.974E-03	.482E-03	.185E-03

APENDICE A: EXPERIMENTO 12

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
3.31	.9656E+00	.09975	.1052E-04	.91	.3473E-02
4.26	.9576E+00	.12178	.1209E-04	.91	.5232E-02
5.02	.9516E+00	.13815	.1315E-04	.91	.6788E-02
5.78	.9460E+00	.15350	.1406E-04	.91	.8443E-02
7.30	.9353E+00	.18185	.1559E-04	.91	.1202E-01
8.06	.9302E+00	.19503	.1623E-04	.91	.1392E-01
9.96	.9183E+00	.22558	.1759E-04	.91	.1893E-01
10.34	.9160E+00	.23133	.1783E-04	.91	.1997E-01
12.24	.9054E+00	.25789	.1886E-04	.91	.2517E-01
14.15	.8953E+00	.28240	.1972E-04	.91	.3060E-01
23.65	.8519E+00	.38175	.2258E-04	.91	.5930E-01
27.46	.8366E+00	.41439	.2334E-04	.91	.7134E-01
31.26	.8222E+00	.44416	.2398E-04	.91	.8359E-01
36.96	.8021E+00	.48398	.2476E-04	.91	.1020E+00
42.67	.7832E+00	.51960	.2540E-04	.91	.1206E+00
48.37	.7653E+00	.55179	.2593E-04	.91	.1394E+00
54.08	.7482E+00	.58110	.2638E-04	.91	.1582E+00
59.78	.7319E+00	.60795	.2677E-04	.91	.1771E+00
65.48	.7162E+00	.63268	.2711E-04	.91	.1960E+00
71.19	.7010E+00	.65556	.2740E-04	.91	.2148E+00
76.89	.6863E+00	.67681	.2767E-04	.91	.2335E+00
82.60	.6720E+00	.69660	.2790E-04	.91	.2522E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.187E-02	.384E-02	.611E-02	.716E-02
PB 2+	.360E-02	.279E-02	.185E-02	.142E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
105.41	.6181E+00	.76390	.2864E-04	.91	.3262E+00
111.12	.6053E+00	.77827	.2878E-04	.91	.3444E+00
128.23	.5681E+00	.81669	.2914E-04	.91	.3985E+00
139.64	.5441E+00	.83892	.2934E-04	.91	.4340E+00
145.34	.5323E+00	.84915	.2942E-04	.91	.4516E+00
151.05	.5207E+00	.85885	.2950E-04	.91	.4690E+00
156.75	.5091E+00	.86804	.2957E-04	.91	.4863E+00
162.45	.4977E+00	.87674	.2963E-04	.91	.5035E+00
179.57	.4638E+00	.90025	.2980E-04	.91	.5542E+00
185.27	.4526E+00	.90728	.2984E-04	.91	.5709E+00
190.98	.4415E+00	.91394	.2988E-04	.91	.5874E+00
196.68	.4304E+00	.92026	.2992E-04	.91	.6037E+00
213.79	.3974E+00	.93724	.3000E-04	.91	.6517E+00
219.50	.3864E+00	.94230	.3002E-04	.91	.6674E+00
225.20	.3755E+00	.94707	.3003E-04	.91	.6829E+00
230.90	.3645E+00	.95157	.3005E-04	.91	.6983E+00
236.61	.3535E+00	.95581	.3005E-04	.91	.7134E+00
242.31	.3426E+00	.95980	.3006E-04	.91	.7283E+00
248.02	.3316E+00	.96355	.3006E-04	.91	.7431E+00
253.72	.3206E+00	.96706	.3006E-04	.91	.7576E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 13

EXPERIMENTO 13

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

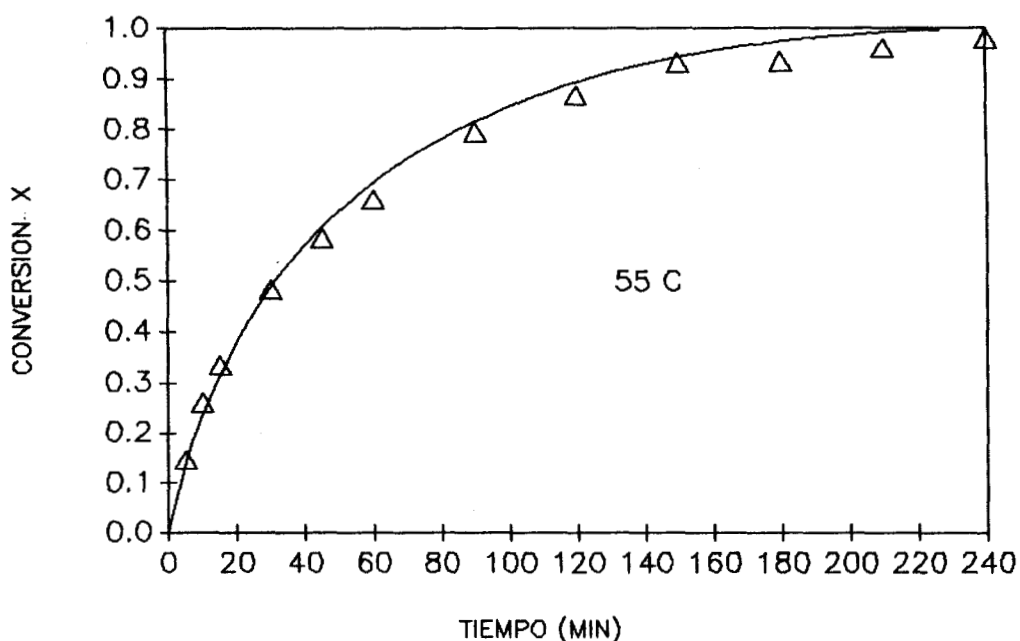
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M

CONCENTRACION DE NaCl = .0 M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	6.38	14.57
2	10	11.36	26.02
3	15	14.58	33.44
4	30	21.00	48.27
5	45	25.89	58.39
6	60	29.33	66.06
7	90	35.40	79.45
8	120	38.70	86.68
9	150	41.55	93.02
10	180	42.61	93.34
11	210	43.21	95.90
12	240	44.25	97.83

VOLUMEN INICIAL DE SOLUCION LIXIVIANTE = 600.0 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 13

EXPERIMENTO 13

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 328 °K
HCl = .100M
FECL3 = .050M
NaCl = .0M
% PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .154
PH = .34
POROSIDAD = .1723
Damkholer = 4.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .300E-06
CTE.CINETICA= .10E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.871E-02	.319E-01	.923E-02	.138E-03	.560E-06

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.145E-04	.257E-08	.155E-07	.801E-14

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.23	.9975E+00	.00760	.2108E-05	1.11	.1933E-04
.30	.9966E+00	.01010	.2791E-05	1.11	.3418E-04
.38	.9958E+00	.01259	.3463E-05	1.11	.5310E-04
.46	.9950E+00	.01505	.4126E-05	1.11	.7603E-04
.53	.9941E+00	.01750	.4780E-05	1.11	.1029E-03

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.483E-01	.486E-01	.492E-01	.496E-01
PB 2+	.753E-03	.597E-03	.345E-03	.190E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.68	.9925E+00	.02236	.6060E-05	1.11	.1683E-03
.84	.9909E+00	.02715	.7306E-05	1.11	.2487E-03
.91	.9901E+00	.02952	.7916E-05	1.11	.2943E-03
1.06	.9885E+00	.03422	.9112E-05	1.11	.3964E-03
1.45	.9846E+00	.04562	.1195E-04	1.11	.7082E-03
1.83	.9807E+00	.05669	.1461E-04	1.11	.1099E-02
2.21	.9770E+00	.06746	.1712E-04	1.11	.1564E-02
2.97	.9697E+00	.08813	.2173E-04	1.11	.2696E-02
3.35	.9662E+00	.09806	.2385E-04	1.11	.3354E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 13

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH	NUEVO	FD
3.73	.9627E+00	.10775	.2587E-04	1.11	.4068E-02	
4.11	.9593E+00	.11721	.2779E-04	1.11	.4836E-02	
4.49	.9559E+00	.12644	.2961E-04	1.11	.5653E-02	
4.87	.9526E+00	.13547	.3136E-04	1.11	.6517E-02	
5.25	.9494E+00	.14429	.3303E-04	1.11	.7426E-02	
6.01	.9431E+00	.16124	.3613E-04	1.11	.9353E-02	
6.77	.9369E+00	.17751	.3898E-04	1.11	.1143E-01	
7.53	.9310E+00	.19314	.4162E-04	1.11	.1364E-01	
8.29	.9251E+00	.20819	.4407E-04	1.11	.1597E-01	
9.05	.9195E+00	.22269	.4635E-04	1.11	.1842E-01	
9.81	.9139E+00	.23669	.4848E-04	1.11	.2096E-01	
10.57	.9085E+00	.25022	.5048E-04	1.11	.2360E-01	
14.37	.8838E+00	.30973	.5860E-04	1.11	.3739E-01	
18.18	.8610E+00	.36178	.6492E-04	1.11	.5261E-01	
25.78	.8208E+00	.44705	.7397E-04	1.11	.8484E-01	
33.39	.7844E+00	.51735	.8045E-04	1.11	.1194E+00	
44.80	.7358E+00	.60168	.8725E-04	1.11	.1726E+00	
56.21	.6913E+00	.66967	.9207E-04	1.11	.2271E+00	

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.173E-01	.238E-01	.317E-01	.355E-01
PB 2+	.147E-01	.121E-01	.883E-02	.727E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH	NUEVO	FD
67.61	.6498E+00	.72562	.9565E-04	1.11	.2820E+00	
79.02	.6106E+00	.77232	.9838E-04	1.11	.3368E+00	
90.43	.5732E+00	.81168	.1005E-03	1.11	.3910E+00	
101.84	.5371E+00	.84507	.1022E-03	1.11	.4445E+00	
113.25	.5020E+00	.87348	.1034E-03	1.11	.4970E+00	
124.66	.4677E+00	.89768	.1044E-03	1.11	.5483E+00	
136.06	.4340E+00	.91826	.1052E-03	1.11	.5984E+00	
147.47	.4006E+00	.93570	.1057E-03	1.11	.6471E+00	
158.88	.3675E+00	.95038	.1061E-03	1.11	.6941E+00	
170.29	.3344E+00	.96262	.1062E-03	1.11	.7394E+00	
181.70	.3012E+00	.97268	.1062E-03	1.11	.7825E+00	
193.11	.2678E+00	.98080	.1061E-03	1.11	.8233E+00	
204.51	.2340E+00	.98719	.1058E-03	1.11	.8614E+00	
215.92	.1997E+00	.99204	.1053E-03	1.11	.8963E+00	
227.33	.1647E+00	.99553	.1047E-03	1.11	.9276E+00	

APENDICE A: EXPERIMENTO 14

EXPERIMENTO 14

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .01M

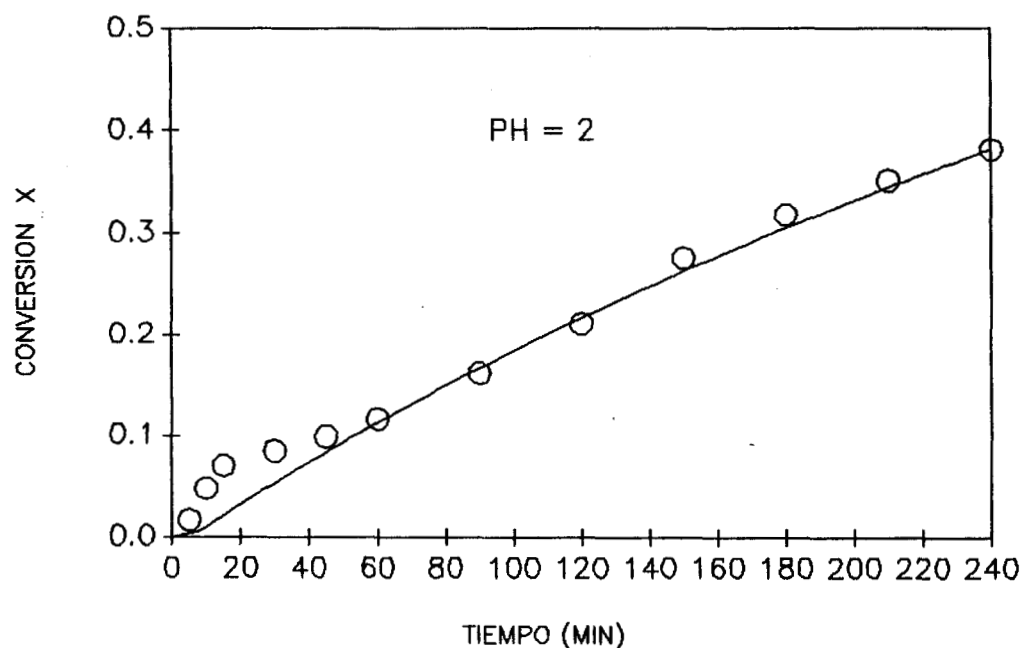
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	1.933	1.6700
2	10	2.243	4.7900
3	15	2.505	7.0400
4	30	2.688	8.4700
5	45	2.882	9.8900
6	60	3.135	11.6000
7	90	3.899	16.1800
8	120	4.837	21.0300
9	150	6.247	27.5200
10	180	7.244	31.7800
11	210	8.039	35.0500
12	240	8.789	38.0700

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIASNTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 14

DE EXPERIMENTO 14

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 328 °K
HCl = .010M
FECL3 = .050M
NaCl = .0M
% PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .065
PH = 1.28
POROSIDAD = .1723
Damkholer = 1.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .800E-07
CTE.CINETICA= .26E-02

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.106E-01	.323E-01	.680E-02	.689E-04	.160E-06

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.220E-03	.377E-06	.197E-05	.981E-10

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.43	.9989E+00	.00320	.1739E-06	2.08	.3412E-05
4.28	.9987E+00	.00399	.2170E-06	2.08	.5319E-05
7.13	.9980E+00	.00588	.3193E-06	2.08	.1154E-04
9.98	.9964E+00	.01062	.5763E-06	2.08	.3781E-04
12.83	.9943E+00	.01689	.9142E-06	2.08	.9586E-04
15.69	.9922E+00	.02310	.1247E-05	2.08	.1798E-03
18.54	.9902E+00	.02926	.1576E-05	2.08	.2891E-03

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.488E-01	.489E-01	.492E-01	.494E-01
PB 2+	.556E-03	.489E-03	.383E-03	.318E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
21.39	.9881E+00	.03535	.1900E-05	2.08	.4233E-03
29.95	.9819E+00	.05330	.2846E-05	2.08	.9703E-03
32.80	.9799E+00	.05918	.3153E-05	2.08	.1199E-02
38.50	.9758E+00	.07077	.3755E-05	2.08	.1724E-02
44.21	.9718E+00	.08216	.4341E-05	2.08	.2336E-02
47.06	.9698E+00	.08778	.4628E-05	2.08	.2674E-02
49.91	.9679E+00	.09335	.4912E-05	2.08	.3032E-02
52.76	.9659E+00	.09887	.5192E-05	2.08	.3410E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 14

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
55.62	.9639E+00	.10434	.5469E-05	2.08	.3808E-02
58.47	.9620E+00	.10977	.5742E-05	2.08	.4226E-02
61.32	.9600E+00	.11515	.6012E-05	2.08	.4662E-02
72.73	.9524E+00	.13622	.7058E-05	2.08	.6592E-02
84.14	.9448E+00	.15660	.8055E-05	2.08	.8801E-02
86.99	.9429E+00	.16159	.8297E-05	2.08	.9395E-02
92.69	.9392E+00	.17145	.8773E-05	2.08	.1063E-01
95.54	.9374E+00	.17632	.9006E-05	2.08	.1127E-01
104.10	.9319E+00	.19070	.9692E-05	2.08	.1328E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.424E-01	.434E-01	.449E-01	.458E-01
PB 2+	.350E-02	.310E-02	.248E-02	.212E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
109.81	.9283E+00	.20010	.1014E-04	2.08	.1469E-01
115.51	.9247E+00	.20935	.1057E-04	2.08	.1616E-01
124.07	.9193E+00	.22296	.1120E-04	2.08	.1846E-01
132.62	.9141E+00	.23627	.1182E-04	2.08	.2088E-01
141.18	.9089E+00	.24928	.1241E-04	2.08	.2341E-01
146.88	.9054E+00	.25779	.1280E-04	2.08	.2515E-01
155.44	.9003E+00	.27032	.1336E-04	2.08	.2785E-01
161.14	.8969E+00	.27853	.1373E-04	2.08	.2970E-01
166.85	.8935E+00	.28661	.1409E-04	2.08	.3159E-01
175.40	.8885E+00	.29853	.1461E-04	2.08	.3451E-01
181.11	.8852E+00	.30633	.1495E-04	2.08	.3650E-01
183.96	.8836E+00	.31019	.1512E-04	2.08	.3751E-01
189.66	.8803E+00	.31783	.1545E-04	2.08	.3955E-01
192.52	.8787E+00	.32161	.1562E-04	2.08	.4059E-01
201.07	.8738E+00	.33280	.1610E-04	2.08	.4375E-01
203.92	.8722E+00	.33648	.1626E-04	2.08	.4482E-01
209.63	.8690E+00	.34376	.1657E-04	2.08	.4699E-01
212.48	.8674E+00	.34737	.1672E-04	2.08	.4808E-01
221.04	.8627E+00	.35803	.1717E-04	2.08	.5141E-01
223.89	.8611E+00	.36154	.1732E-04	2.08	.5253E-01
226.74	.8595E+00	.36503	.1746E-04	2.08	.5367E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.367E-01	.383E-01	.407E-01	.421E-01
PB 2+	.618E-02	.550E-02	.451E-02	.396E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
229.59	.8579E+00	.36849	.1761E-04	2.08	.5480E-01
241.00	.8517E+00	.38211	.1818E-04	2.08	.5943E-01
243.85	.8502E+00	.38546	.1831E-04	2.08	.6061E-01
246.71	.8487E+00	.38879	.1845E-04	2.08	.6179E-01
249.56	.8471E+00	.39210	.1859E-04	2.08	.6297E-01
252.41	.8456E+00	.39539	.1872E-04	2.08	.6417E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 15

EXPERIMENTO 15

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 10.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .150M

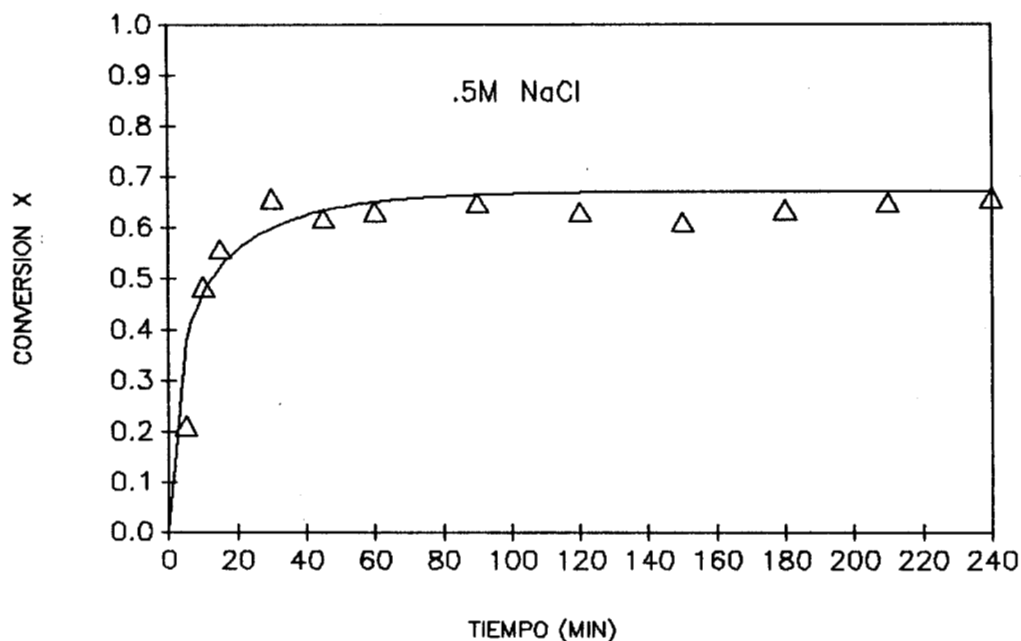
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .100M

CONCENTRACION DE NaCl = .5M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	5.00	21.14
2	10	11.46	48.37
3	15	13.22	55.83
4	30	15.57	65.76
5	45	14.64	61.79
6	60	14.97	63.22
7	90	15.28	64.82
8	120	14.91	63.05
9	150	14.40	61.05
10	180	15.02	63.48
11	210	15.33	64.79
12	240	15.55	65.76

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 58.69 %



DE EXPERIMENTO 15

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 10.0
TEMP = 328 °K
HCl = .150M
FECL3 = .100M
NaCl = .5M
% PB = 58.69

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .751
PH = .18
POROSIDAD = .2301
Damkholer = 10.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .700E-06
CTE.CINETICA= .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.472E-02	.499E-01	.436E-01	.179E-02	.318E-04

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.428E-05	.785E-09	.276E-08	.371E-15

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.16	.9865E+00	.03989	.1247E-03	.94	.5401E-03
.98	.9370E+00	.17727	.3795E-03	.94	.1140E-01
PRECIPITACION DE PBC12					
1.14	.9304E+00	.19469	.3518E-03	.94	.1387E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.562E-01	.658E-01	.804E-01	.890E-01
PB 2+	.190E-01	.151E-01	.905E-02	.551E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.47	.9194E+00	.22281	.3518E-03	.94	.1844E-01
2.12	.9018E+00	.26672	.3518E-03	.94	.2706E-01
4.40	.8608E+00	.36210	.3518E-03	.94	.5271E-01
5.05	.8523E+00	.38096	.3518E-03	.94	.5903E-01
8.31	.8216E+00	.44536	.3518E-03	.94	.8411E-01
9.94	.8098E+00	.46900	.3518E-03	.94	.9479E-01
11.57	.7995E+00	.48892	.3518E-03	.94	.1045E+00
14.83	.7834E+00	.51923	.3518E-03	.94	.1204E+00
18.09	.7703E+00	.54286	.3518E-03	.94	.1340E+00
27.87	.7438E+00	.58854	.3518E-03	.94	.1633E+00
37.65	.7270E+00	.61572	.3518E-03	.94	.1829E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 15

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
42.54	.7209E+00	.62530	.3518E-03	.94	.1902E+00
47.43	.7159E+00	.63303	.3518E-03	.94	.1962E+00
52.32	.7118E+00	.63932	.3518E-03	.94	.2013E+00
57.20	.7084E+00	.64449	.3518E-03	.94	.2055E+00
62.09	.7056E+00	.64874	.3518E-03	.94	.2090E+00
66.98	.7032E+00	.65227	.3518E-03	.94	.2120E+00
71.87	.7012E+00	.65520	.3518E-03	.94	.2145E+00
76.76	.6996E+00	.65765	.3518E-03	.94	.2166E+00
81.65	.6982E+00	.65969	.3518E-03	.94	.2183E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.619E-01	.621E-01	.625E-01	.626E-01
PB 2+	.190E-01	.189E-01	.188E-01	.187E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
86.54	.6970E+00	.66141	.3518E-03	.94	.2198E+00
91.43	.6960E+00	.66284	.3518E-03	.94	.2211E+00
96.32	.6952E+00	.66405	.3518E-03	.94	.2221E+00
101.21	.6945E+00	.66507	.3518E-03	.94	.2230E+00
106.10	.6939E+00	.66592	.3518E-03	.94	.2238E+00
110.99	.6934E+00	.66665	.3518E-03	.94	.2244E+00
115.88	.6930E+00	.66726	.3518E-03	.94	.2249E+00
120.77	.6926E+00	.66777	.3518E-03	.94	.2254E+00
125.65	.6923E+00	.66820	.3518E-03	.94	.2258E+00
130.54	.6920E+00	.66857	.3518E-03	.94	.2261E+00
135.43	.6918E+00	.66888	.3518E-03	.94	.2264E+00
140.32	.6916E+00	.66914	.3518E-03	.94	.2266E+00
145.21	.6915E+00	.66937	.3518E-03	.94	.2268E+00
150.10	.6914E+00	.66955	.3518E-03	.94	.2270E+00
154.99	.6912E+00	.66971	.3518E-03	.94	.2271E+00
159.88	.6911E+00	.66985	.3518E-03	.94	.2272E+00
164.77	.6911E+00	.66996	.3518E-03	.94	.2273E+00
169.66	.6910E+00	.67006	.3518E-03	.94	.2274E+00
179.44	.6909E+00	.67021	.3518E-03	.94	.2276E+00
189.22	.6908E+00	.67032	.3518E-03	.94	.2277E+00
194.10	.6908E+00	.67036	.3518E-03	.94	.2277E+00
198.99	.6908E+00	.67039	.3518E-03	.94	.2277E+00
203.88	.6907E+00	.67042	.3518E-03	.94	.2278E+00
208.77	.6907E+00	.67045	.3518E-03	.94	.2278E+00
213.66	.6907E+00	.67047	.3518E-03	.94	.2278E+00
218.55	.6907E+00	.67049	.3518E-03	.94	.2278E+00
223.44	.6907E+00	.67050	.3518E-03	.94	.2278E+00
228.33	.6907E+00	.67052	.3518E-03	.94	.2278E+00
233.22	.6907E+00	.67053	.3518E-03	.94	.2279E+00
238.11	.6907E+00	.67054	.3518E-03	.94	.2279E+00
243.00	.6907E+00	.67054	.3518E-03	.94	.2279E+00
247.89	.6907E+00	.67055	.3518E-03	.94	.2279E+00
252.78	.6907E+00	.67056	.3518E-03	.94	.2279E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 16

EXPERIMENTO

16

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 10.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .000M

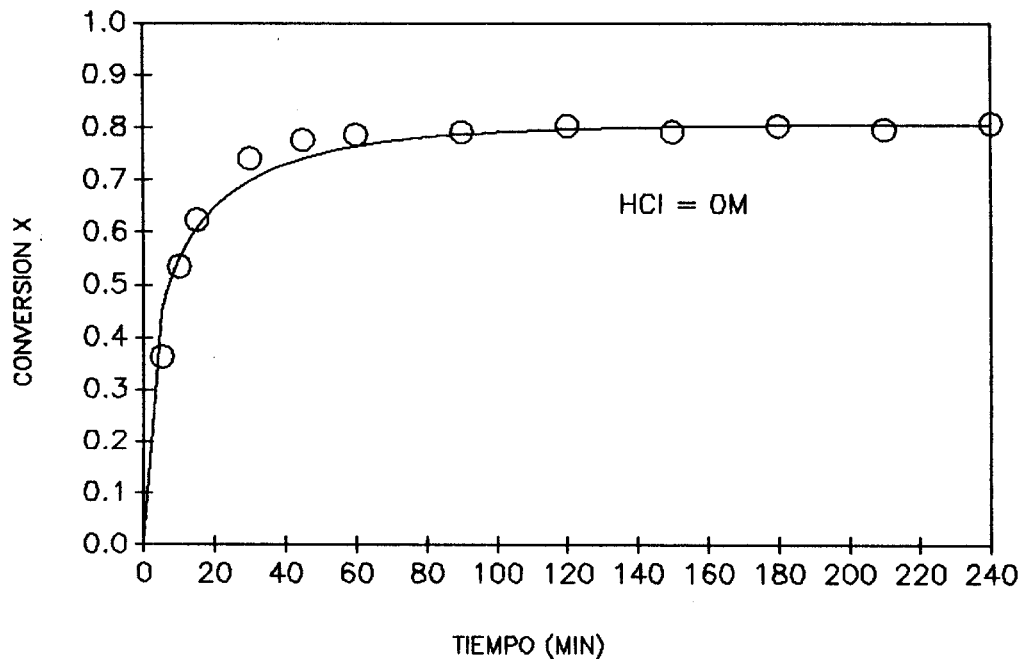
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .100M

CONCENTRACION DE NaCl = 1.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	9.23	36.34
2	10	13.60	53.55
3	15	15.83	62.33
4	30	18.82	74.19
5	45	19.73	77.68
6	60	19.95	78.65
7	90	20.07	79.12
8	120	20.39	80.38
9	150	20.11	79.28
10	180	20.35	80.33
11	210	20.18	79.66
12	240	20.50	80.82

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 50.38 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 17

NUM.DE EXPERIMENTO 16

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 10.0
TEMP = 55.0°C
HCl = .000M
FECL3 = .100M
NaCl = 1.0M
% PB = 50.38

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =1.099
PH = 2.47
POROSIDAD =.1949
DAMKOLER =10.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .800E-06
CTE.CINETICA= .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.282E-02	.426E-01	.510E-01	.277E-02	.726E-04

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.533E-03	.245E-04	.489E-04	.154E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.14	.9844E+00	.04602	.1212E-03	3.26	.7209E-03
.29	.9709E+00	.08473	.1982E-03	3.26	.2488E-02
.43	.9589E+00	.11839	.2526E-03	3.27	.4936E-02
.57	.9479E+00	.14829	.2936E-03	3.27	.7860E-02
.71	.9378E+00	.17529	.3260E-03	3.27	.1113E-01
PRECIPITACION DE PBC12					
.86	.9292E+00	.19764	.3226E-03	3.27	.1432E-01
1.00	.9217E+00	.21702	.3226E-03	3.28	.1744E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.545E-01	.647E-01	.803E-01	.894E-01
PB 2+	.197E-01	.155E-01	.903E-02	.528E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.14	.9149E+00	.23419	.3226E-03	3.28	.2049E-01
2.28	.8762E+00	.32735	.3226E-03	3.29	.4219E-01
3.42	.8493E+00	.38739	.3226E-03	3.30	.6129E-01
4.85	.8236E+00	.44128	.3226E-03	3.30	.8235E-01
5.13	.8192E+00	.45025	.3226E-03	3.30	.8625E-01
6.56	.8007E+00	.48661	.3226E-03	3.31	.1033E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 17

7.99	.7849E+00	.51644	.3226E-03	3.31	.1189E+00
9.41	.7711E+00	.54152	.3226E-03	3.31	.1332E+00
10.84	.7589E+00	.56300	.3226E-03	3.32	.1464E+00
13.69	.7389E+00	.59661	.3226E-03	3.32	.1689E+00
16.54	.7221E+00	.62340	.3226E-03	3.33	.1887E+00
TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
20.82	.7021E+00	.65388	.3226E-03	3.33	.2133E+00
25.10	.6857E+00	.67756	.3226E-03	3.33	.2342E+00
29.38	.6721E+00	.69645	.3226E-03	3.34	.2521E+00
33.65	.6605E+00	.71180	.3226E-03	3.34	.2675E+00
37.93	.6507E+00	.72448	.3226E-03	3.34	.2808E+00
42.21	.6422E+00	.73508	.3226E-03	3.34	.2924E+00
46.49	.6349E+00	.74404	.3226E-03	3.34	.3025E+00
50.77	.6286E+00	.75166	.3226E-03	3.34	.3114E+00
55.05	.6230E+00	.75820	.3226E-03	3.35	.3192E+00
59.32	.6181E+00	.76383	.3226E-03	3.35	.3261E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.603E-01	.613E-01	.624E-01	.629E-01
PB 2+	.196E-01	.192E-01	.188E-01	.186E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
63.60	.6138E+00	.76872	.3226E-03	3.35	.3322E+00
72.16	.6067E+00	.77670	.3226E-03	3.35	.3424E+00
80.71	.6011E+00	.78284	.3226E-03	3.35	.3505E+00
93.55	.5948E+00	.78959	.3226E-03	3.35	.3595E+00
102.10	.5916E+00	.79291	.3226E-03	3.35	.3641E+00
110.66	.5891E+00	.79553	.3226E-03	3.35	.3677E+00
114.94	.5881E+00	.79664	.3226E-03	3.35	.3693E+00
119.22	.5871E+00	.79762	.3226E-03	3.35	.3707E+00
123.50	.5863E+00	.79850	.3226E-03	3.35	.3719E+00
127.77	.5855E+00	.79928	.3226E-03	3.35	.3730E+00
132.05	.5848E+00	.79999	.3226E-03	3.35	.3740E+00
136.33	.5842E+00	.80061	.3226E-03	3.35	.3749E+00
140.61	.5837E+00	.80118	.3226E-03	3.35	.3757E+00
144.89	.5832E+00	.80168	.3226E-03	3.35	.3764E+00
149.16	.5827E+00	.80213	.3226E-03	3.35	.3771E+00
153.44	.5823E+00	.80254	.3226E-03	3.35	.3776E+00
157.72	.5820E+00	.80290	.3226E-03	3.35	.3782E+00
162.00	.5816E+00	.80323	.3226E-03	3.35	.3786E+00
166.28	.5814E+00	.80352	.3226E-03	3.35	.3790E+00
170.55	.5811E+00	.80378	.3226E-03	3.35	.3794E+00
174.83	.5809E+00	.80402	.3226E-03	3.35	.3798E+00
179.11	.5806E+00	.80423	.3226E-03	3.35	.3801E+00
183.39	.5805E+00	.80442	.3226E-03	3.35	.3803E+00
187.67	.5803E+00	.80459	.3226E-03	3.35	.3806E+00
191.95	.5801E+00	.80475	.3226E-03	3.35	.3808E+00
196.22	.5800E+00	.80488	.3226E-03	3.35	.3810E+00
200.50	.5799E+00	.80501	.3226E-03	3.35	.3812E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 17

204.78	.5798E+00	.80512	.3226E-03	3.35	.3814E+00
209.06	.5797E+00	.80522	.3226E-03	3.35	.3815E+00
213.34	.5796E+00	.80531	.3226E-03	3.35	.3816E+00
217.61	.5795E+00	.80539	.3226E-03	3.35	.3818E+00
221.89	.5794E+00	.80546	.3226E-03	3.35	.3819E+00
226.17	.5794E+00	.80553	.3226E-03	3.35	.3820E+00
230.45	.5793E+00	.80559	.3226E-03	3.35	.3820E+00
234.73	.5793E+00	.80564	.3226E-03	3.35	.3821E+00
239.00	.5792E+00	.80569	.3226E-03	3.35	.3822E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.608E-01	.608E-01	.608E-01	.608E-01
PB 2+	.196E-01	.196E-01	.196E-01	.196E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
243.28	.5792E+00	.80573	.3226E-03	3.35	.3822E+00
247.56	.5791E+00	.80577	.3226E-03	3.35	.3823E+00
251.84	.5791E+00	.80580	.3226E-03	3.35	.3824E+00

EXPERIMENTO

17

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 10.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .075M

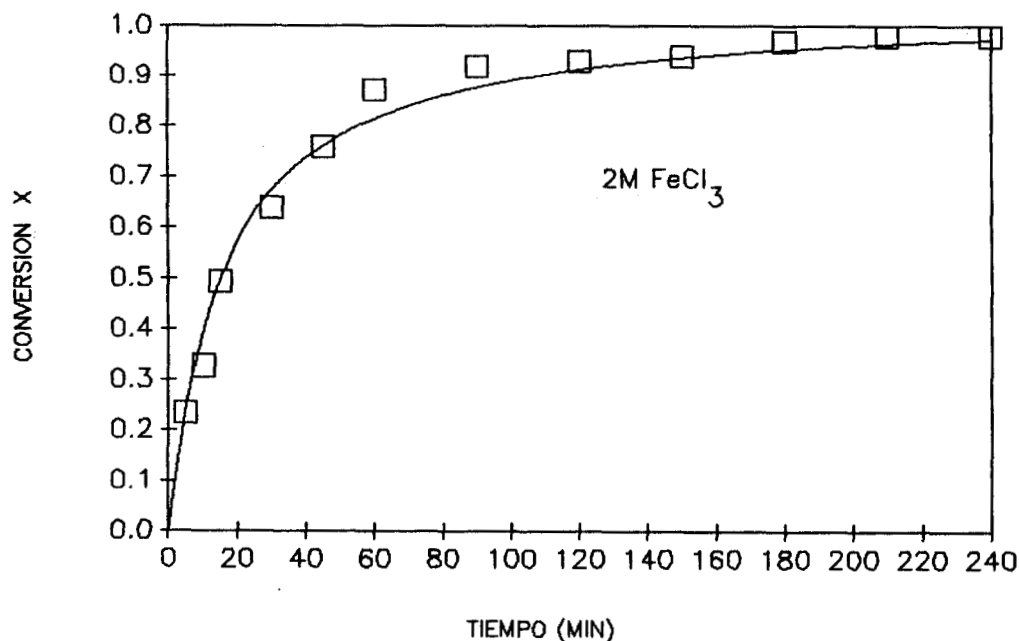
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .100M

CONCENTRACION DE NaCl = 2.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	14.63	23.39
2	10	20.47	32.80
3	15	30.88	49.42
4	30	10.89	87.09
5	45	10.87	86.99
6	60	10.77	86.19
7	90	11.00	88.14
8	120	11.10	88.89
9	150	11.78	94.15
10	180	12.00	96.15
11	210	12.30	98.43
12	240	12.37	98.74

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 62.05 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 17

NUM.DE EXPERIMENTO 17

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 10.0
TEMP = 55.0°C
HCl = .075M
FECL3 = .100M
NaCl = 2.0M
% PB = 62.05

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =2.169
PH = .25
POROSIDAD =.2444
DAMKOLER = 5.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .400E-06
CTE.CINETICA= .13E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.936E-03	.278E-01	.643E-01	.658E-02	.356E-03

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.117E-05	.574E-09	.553E-09	.316E-16

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.14	.9786E+00	.06273	.4172E-04	1.11	.1350E-02
1.71	.9668E+00	.09647	.6084E-04	1.11	.3243E-02
2.28	.9557E+00	.12718	.7662E-04	1.11	.5721E-02
2.85	.9453E+00	.15538	.8993E-04	1.11	.8660E-02

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.690E-01	.752E-01	.849E-01	.907E-01
PB 2+	.136E-01	.110E-01	.702E-02	.465E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
3.42	.9354E+00	.18147	.1014E-03	1.11	.1197E-01
3.99	.9261E+00	.20574	.1113E-03	1.11	.1558E-01
4.56	.9172E+00	.22843	.1201E-03	1.11	.1944E-01
5.13	.9087E+00	.24975	.1279E-03	1.11	.2350E-01
7.99	.8727E+00	.33536	.1558E-03	1.11	.4449E-01
10.84	.8412E+00	.40480	.1750E-03	1.11	.6766E-01
16.54	.7891E+00	.50865	.1995E-03	1.11	.1147E+00
25.10	.7249E+00	.61904	.2214E-03	1.11	.1854E+00
PRECIPITACION DE PBC12					
33.65	.6801E+00	.68536	.2121E-03	1.11	.2415E+00
42.21	.6435E+00	.73349	.2121E-03	1.11	.2906E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 17

50.77	.6125E+00	.77024	.2121E-03	1.11	.3341E+00
59.32	.5855E+00	.79931	.2121E-03	1.11	.3730E+00
67.88	.5615E+00	.82293	.2121E-03	1.11	.4081E+00
76.44	.5400E+00	.84250	.2121E-03	1.11	.4401E+00
84.99	.5205E+00	.85898	.2121E-03	1.11	.4693E+00
93.55	.5026E+00	.87304	.2121E-03	1.11	.4961E+00
102.10	.4860E+00	.88518	.2121E-03	1.11	.5209E+00
110.66	.4706E+00	.89575	.2121E-03	1.11	.5440E+00
119.22	.4562E+00	.90503	.2121E-03	1.11	.5655E+00
127.77	.4427E+00	.91323	.2121E-03	1.11	.5856E+00
136.33	.4299E+00	.92053	.2121E-03	1.11	.6044E+00
144.89	.4178E+00	.92706	.2121E-03	1.11	.6222E+00
153.44	.4063E+00	.93293	.2121E-03	1.11	.6389E+00
162.00	.3953E+00	.93822	.2121E-03	1.11	.6547E+00
170.55	.3848E+00	.94302	.2121E-03	1.11	.6697E+00
179.11	.3747E+00	.94738	.2121E-03	1.11	.6840E+00
187.67	.3650E+00	.95136	.2121E-03	1.11	.6976E+00
196.22	.3557E+00	.95501	.2121E-03	1.11	.7105E+00
204.78	.3466E+00	.95835	.2121E-03	1.11	.7228E+00
213.34	.3379E+00	.96142	.2121E-03	1.11	.7346E+00
221.89	.3294E+00	.96425	.2121E-03	1.11	.7459E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.364E-01	.395E-01	.416E-01	.423E-01
PB 2+	.313E-01	.300E-01	.291E-01	.289E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
230.45	.3212E+00	.96686	.2121E-03	1.11	.7568E+00
239.00	.3132E+00	.96928	.2121E-03	1.11	.7672E+00
247.56	.3054E+00	.97152	.2121E-03	1.11	.7772E+00
256.12	.2978E+00	.97360	.2121E-03	1.11	.7868E+00

EXPERIMENTO

18

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 10.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .075M

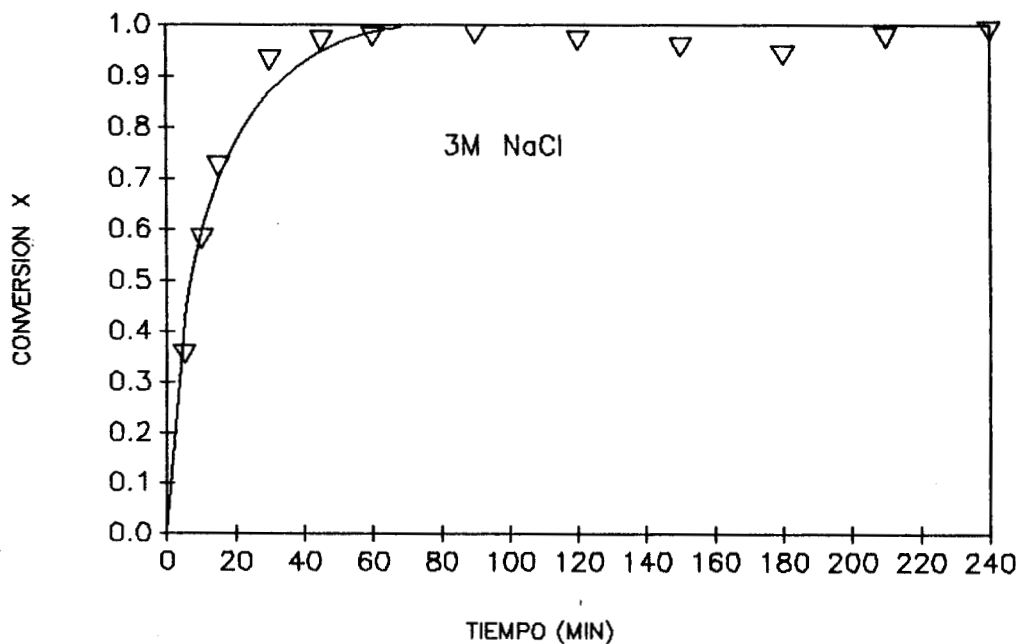
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .100M

CONCENTRACION DE NaCl = 3.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	10.67	35.55
2	10	17.44	58.11
3	15	21.74	72.44
4	30	27.95	93.14
5	45	29.11	97.00
6	60	29.36	97.83
7	90	29.50	98.30
8	120	29.13	97.07
9	150	28.76	95.83
10	180	28.31	94.34
11	210	29.30	97.63
12	240	29.72	99.03

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 59.64 %



EXPERIMENTO 18

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 10.0
TEMP = 328 °K
HCl = .075M
FECL3 = .100M
NaCl = 3.0M
% PB = 59.66

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = 3.163
PH = .03
POROSIDAD = .2343
Damkholer = 10.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .600E-06
CTE.CINETICA = .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.412E-03	.184E-01	.690E-01	.113E-01	.924E-03

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.343E-06	.178E-09	.162E-09	.420E-17

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.14	.9379E+00	.17497	.4998E-04	1.00	.1109E-01
1.52	.9231E+00	.21346	.5619E-04	1.00	.1684E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.471E-01	.590E-01	.771E-01	.877E-01
PB 2+	.229E-01	.180E-01	.105E-01	.615E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
1.90	.9096E+00	.24746	.6094E-04	1.00	.2305E-01
3.80	.8545E+00	.37618	.7473E-04	1.00	.5739E-01
4.94	.8275E+00	.43342	.7940E-04	1.00	.7902E-01
5.32	.8192E+00	.45033	.8066E-04	1.00	.8628E-01
9.13	.7512E+00	.57617	.8868E-04	1.00	.1549E+00
11.03	.7220E+00	.62370	.9123E-04	1.00	.1889E+00
14.83	.6712E+00	.69763	.9478E-04	1.00	.2532E+00
30.04	.5078E+00	.86905	.1015E-03	1.00	.4883E+00
35.75	.4543E+00	.90626	.1027E-03	1.00	.5684E+00
47.15	.3516E+00	.95654	.1040E-03	1.00	.7161E+00
58.56	.2492E+00	.98453	.1043E-03	1.00	.8447E+00
64.27	.1961E+00	.99245	.1040E-03	1.00	.8997E+00
69.97	.1406E+00	.99722	.1036E-03	1.00	.9462E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 19

EXPERIMENTO

19

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 20.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .100M

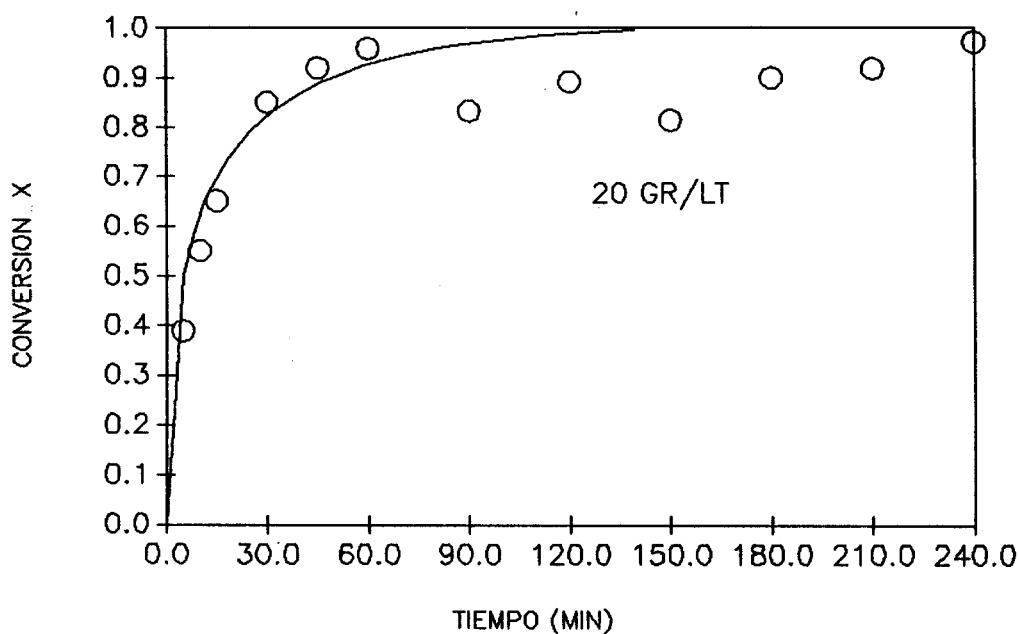
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .300M

CONCENTRACION DE NaCl = 3.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	42.65	38.98
2	10	12.04	55.11
3	15	14.25	65.09
4	30	18.54	85.08
5	45	40.14	92.03
6	60	20.88	95.90
7	90	18.15	83.29
8	120	19.43	89.17
9	150	17.75	81.46
10	180	19.63	90.01
11	210	20.01	91.83
12	240	21.14	97.18

VOLUMEN INICIAL DE SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL.

BALANCE METALURGICO = 53.87%



EXPERIMENTO 19

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 20.0
 TEMP = 328 °K
 HCl = .100M
 FECL3 = .300M
 NaCl = 3.0M
 % PB = 53.87

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =3.243
 PH = 2.58
 POROSIDAD =.2097
 Damkholer =10.00
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .340E-06
 CTE.CINETICA= .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.924E-03	.419E-01	.161E+00	.271E-01	.225E-02

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.273E-03	.524E-04	.115E-03	.916E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.34	.9642E+00	.10364	.9757E-04	3.46	.3756E-02
.67	.9356E+00	.18092	.1418E-03	3.47	.1189E-01

PRECIPITACION DE PBC12

1.01	.9179E+00	.22664	.1207E-03	3.47	.1912E-01
2.35	.8721E+00	.33664	.1207E-03	3.48	.4487E-01
3.02	.8550E+00	.37496	.1207E-03	3.48	.5697E-01
3.69	.8401E+00	.40709	.1207E-03	3.49	.6853E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.188E+00	.210E+00	.241E+00	.258E+00
PB 2+	.497E-01	.408E-01	.281E-01	.212E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
4.36	.8268E+00	.43475	.1207E-03	3.49	.7958E-01
5.03	.8148E+00	.45899	.1207E-03	3.49	.9016E-01
8.39	.7720E+00	.53988	.1207E-03	3.50	.1322E+00
11.74	.7385E+00	.59719	.1207E-03	3.51	.1694E+00
18.45	.6908E+00	.67033	.1207E-03	3.52	.2277E+00
38.59	.6028E+00	.78095	.1207E-03	3.53	.3480E+00
48.65	.5729E+00	.81201	.1207E-03	3.53	.3915E+00
58.72	.5484E+00	.83504	.1207E-03	3.54	.4276E+00
78.85	.5109E+00	.86661	.1207E-03	3.54	.4836E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 19

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
88.92	.4962E+00	.87781	.1207E-03	3.54	.5057E+00
98.98	.4835E+00	.88696	.1207E-03	3.54	.5247E+00
109.05	.4724E+00	.89456	.1207E-03	3.54	.5413E+00
119.12	.4627E+00	.90093	.1207E-03	3.54	.5558E+00
129.18	.4541E+00	.90633	.1207E-03	3.55	.5686E+00
139.25	.4466E+00	.91095	.1207E-03	3.55	.5799E+00
149.31	.4398E+00	.91493	.1207E-03	3.55	.5899E+00
159.38	.4338E+00	.91838	.1207E-03	3.55	.5988E+00
169.45	.4284E+00	.92139	.1207E-03	3.55	.6067E+00
179.51	.4235E+00	.92403	.1207E-03	3.55	.6138E+00
189.58	.4192E+00	.92635	.1207E-03	3.55	.6202E+00
199.65	.4153E+00	.92840	.1207E-03	3.55	.6259E+00
209.71	.4117E+00	.93021	.1207E-03	3.55	.6311E+00
219.78	.4085E+00	.93183	.1207E-03	3.55	.6357E+00
229.84	.4056E+00	.93327	.1207E-03	3.55	.6399E+00
239.91	.4030E+00	.93456	.1207E-03	3.55	.6437E+00
249.98	.4006E+00	.93572	.1207E-03	3.55	.6472E+00
260.04	.3984E+00	.93676	.1207E-03	3.55	.6503E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 20

EXPERIMENTO

20

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 30.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .000M

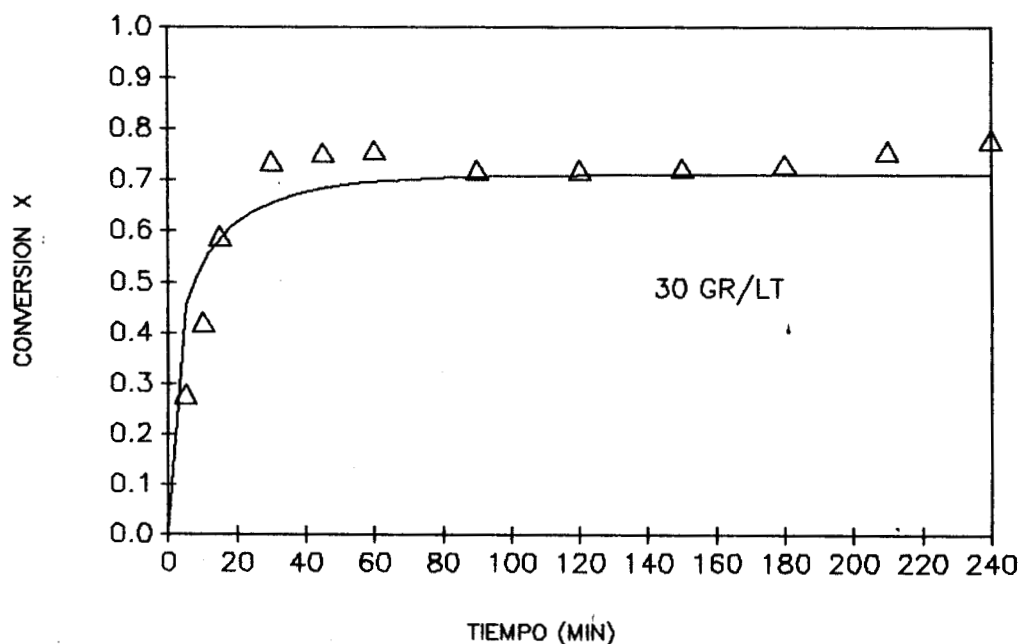
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .450M

CONCENTRACION DE NaCl = 3.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	23.31	28.00
2	10	35.03	42.10
3	15	9.80	58.96
4	30	12.25	73.64
5	45	12.52	75.27
6	60	12.61	75.81
7	90	10.25	61.78
8	120	11.92	71.90
9	150	11.99	72.32
10	180	12.11	73.05
11	210	12.55	75.64
12	240	12.92	77.87

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 54.91 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 20

EXPERIMENTO 20

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 30.0
TEMP = 328 °K
HCl = .000M
FECL3 = .450M
NaCl = 3.0M
% PB = 54.91

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =3.389
PH = 2.20
POROSIDAD =.2141
Damkholer =10.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .350E-06
CTE.CINETICA= .26E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.150E-02	.736E-01	.312E+00	.573E-01	.514E-02

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.188E-03	.163E-04	.660E-04	.180E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.33	.9524E+00	.13603	.1438E-03	3.20	.6574E-02
PRECIPITACION DE PBC12					
.65	.9303E+00	.19476	.1111E-03	3.20	.1388E-01
.98	.9137E+00	.23724	.1111E-03	3.20	.2107E-01
1.30	.9001E+00	.27073	.1111E-03	3.20	.2794E-01
1.96	.8796E+00	.31941	.1111E-03	3.21	.3998E-01
2.61	.8630E+00	.35716	.1111E-03	3.21	.5113E-01
3.26	.8491E+00	.38784	.1111E-03	3.21	.6145E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.325E+00	.345E+00	.373E+00	.388E+00
PB 2+	.568E-01	.488E-01	.372E-01	.308E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
3.91	.8370E+00	.41355	.1111E-03	3.21	.7102E-01
4.56	.8264E+00	.43557	.1111E-03	3.21	.7993E-01
5.22	.8170E+00	.45474	.1111E-03	3.21	.8824E-01
8.47	.7851E+00	.51599	.1111E-03	3.22	.1186E+00
11.73	.7620E+00	.55763	.1111E-03	3.22	.1430E+00
18.25	.7328E+00	.60641	.1111E-03	3.23	.1760E+00
28.03	.7075E+00	.64592	.1111E-03	3.23	.2067E+00
37.81	.6918E+00	.66894	.1111E-03	3.23	.2264E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 20

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
47.59	.6818E+00	.68309	.1111E-03	3.23	.2393E+00
57.37	.6753E+00	.69206	.1111E-03	3.23	.2478E+00
67.15	.6710E+00	.69787	.1111E-03	3.23	.2535E+00
76.92	.6682E+00	.70169	.1111E-03	3.23	.2572E+00
86.70	.6663E+00	.70421	.1111E-03	3.23	.2598E+00
96.48	.6650E+00	.70589	.1111E-03	3.23	.2615E+00
106.26	.6642E+00	.70701	.1111E-03	3.23	.2626E+00
116.04	.6636E+00	.70776	.1111E-03	3.23	.2633E+00
125.82	.6632E+00	.70826	.1111E-03	3.23	.2639E+00
135.60	.6630E+00	.70860	.1111E-03	3.23	.2642E+00
145.37	.6628E+00	.70883	.1111E-03	3.23	.2644E+00
155.15	.6627E+00	.70898	.1111E-03	3.23	.2646E+00
164.93	.6626E+00	.70908	.1111E-03	3.23	.2647E+00
174.71	.6626E+00	.70915	.1111E-03	3.23	.2648E+00
184.49	.6625E+00	.70920	.1111E-03	3.23	.2648E+00
194.27	.6625E+00	.70923	.1111E-03	3.23	.2648E+00
204.05	.6625E+00	.70925	.1111E-03	3.23	.2649E+00
213.82	.6625E+00	.70926	.1111E-03	3.23	.2649E+00
223.60	.6625E+00	.70927	.1111E-03	3.23	.2649E+00
233.38	.6625E+00	.70928	.1111E-03	3.23	.2649E+00
243.16	.6625E+00	.70928	.1111E-03	3.23	.2649E+00
252.94	.6625E+00	.70929	.1111E-03	3.23	.2649E+00

EXPERIMENTO

21

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION= 50.0

TEMPERATURA = 328 °K

CONCENTRACION DE HCl = .000M

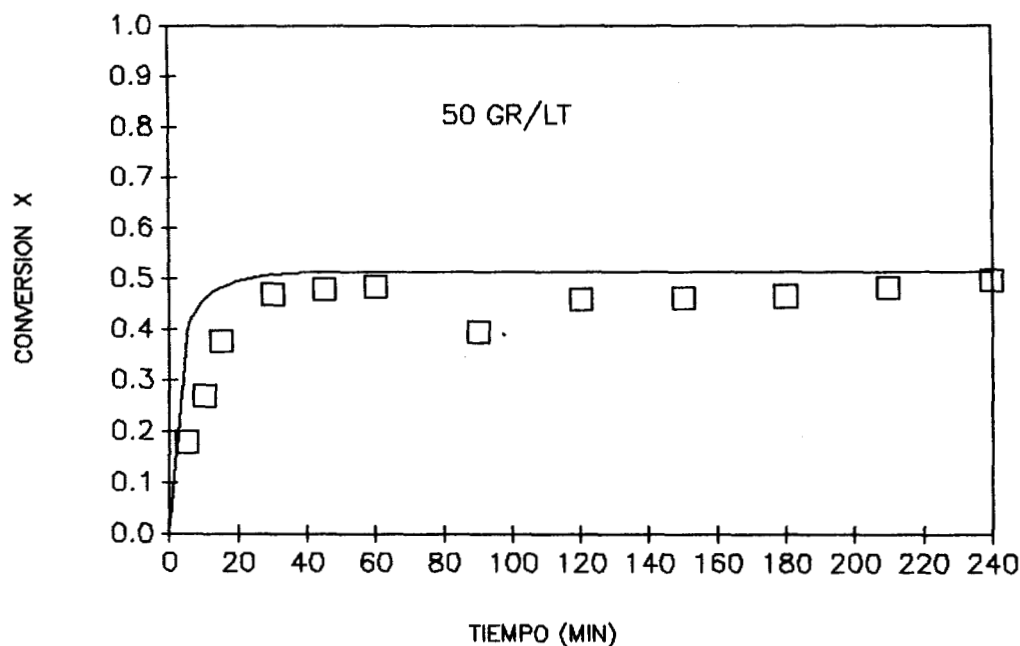
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .770M

CONCENTRACION DE NaCl = 3.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	23.31	17.87
2	10	35.03	26.86
3	15	9.80	37.60
4	30	12.25	46.97
5	45	12.52	48.01
6	60	12.61	48.35
7	90	10.25	39.38
8	120	11.92	45.82
9	150	11.99	46.09
10	180	12.11	46.55
11	210	12.55	48.21
12	240	12.92	49.64

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800.00 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 51.81 %



EXPERIMENTO 21

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 50.0
 TEMP = 328 °K
 HCl = .000M
 FECL3 = .770M
 NaCl = 3.0M
 % PB = 51.81

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = 3.650
 PH = 2.10
 POROSIDAD = .2010
 Damkholer = 5.00
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .316E-06
 CTE.CINETICA = .13E-01

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.204E-02	.111E+00	.535E+00	.111E+00	.109E-01

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.212E-03	.173E-04	.121E-03	.413E-06

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.07	.9871E+00	.03833	.3932E-04	3.12	.4982E-03
.14	.9750E+00	.07301	.7119E-04	3.12	.1837E-02
.22	.9638E+00	.10475	.9774E-04	3.13	.3839E-02
PRECIPITACION DE PBC12					
.29	.9554E+00	.12803	.9532E-04	3.13	.5800E-02
.36	.9484E+00	.14700	.9532E-04	3.13	.7718E-02
.43	.9424E+00	.16312	.9532E-04	3.13	.9582E-02
.51	.9371E+00	.17720	.9532E-04	3.13	.1139E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.622E+00	.652E+00	.698E+00	.726E+00
PB 2+	.649E-01	.525E-01	.334E-01	.222E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.58	.9323E+00	.18973	.9532E-04	3.13	.1314E-01
.65	.9279E+00	.20103	.9532E-04	3.13	.1484E-01
.79	.9202E+00	.22081	.9532E-04	3.13	.1809E-01
.87	.9167E+00	.22958	.9532E-04	3.13	.1965E-01
.94	.9135E+00	.23775	.9532E-04	3.13	.2116E-01
1.73	.8882E+00	.29925	.9532E-04	3.13	.3469E-01
2.09	.8797E+00	.31927	.9532E-04	3.14	.3995E-01
5.34	.8353E+00	.41726	.9532E-04	3.14	.7247E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 21

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
6.07	.8297E+00	.42882	.9532E-04	3.14	.7712E-01
8.95	.8139E+00	.46093	.9532E-04	3.14	.9105E-01
9.68	.8110E+00	.46654	.9532E-04	3.14	.9364E-01
10.40	.8085E+00	.47147	.9532E-04	3.14	.9596E-01
11.84	.8043E+00	.47968	.9532E-04	3.14	.9989E-01
12.56	.8025E+00	.48310	.9532E-04	3.14	.1016E+00
13.29	.8010E+00	.48614	.9532E-04	3.14	.1031E+00
14.01	.7996E+00	.48885	.9532E-04	3.14	.1044E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.640E+00	.643E+00	.646E+00	.648E+00
PB 2+	.642E-01	.632E-01	.618E-01	.611E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
14.73	.7983E+00	.49127	.9532E-04	3.14	.1056E+00
20.51	.7918E+00	.50350	.9532E-04	3.14	.1120E+00
25.56	.7893E+00	.50835	.9532E-04	3.14	.1145E+00
30.61	.7880E+00	.51074	.9532E-04	3.15	.1158E+00
40.00	.7870E+00	.51247	.9532E-04	3.15	.1167E+00
44.33	.7869E+00	.51276	.9532E-04	3.15	.1169E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.642E+00	.642E+00	.642E+00	.642E+00
PB 2+	.642E-01	.641E-01	.641E-01	.641E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
45.78	.7869E+00	.51283	.9532E-04	3.15	.1169E+00
50.83	.7868E+00	.51298	.9532E-04	3.15	.1170E+00
51.55	.7868E+00	.51299	.9532E-04	3.15	.1170E+00
57.33	.7867E+00	.51307	.9532E-04	3.15	.1171E+00
59.50	.7867E+00	.51308	.9532E-04	3.15	.1171E+00
60.22	.7867E+00	.51309	.9532E-04	3.15	.1171E+00
74.66	.7867E+00	.51312	.9532E-04	3.15	.1171E+00
90.54	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
110.76	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
120.15	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
130.26	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
130.98	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
140.37	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
150.47	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
161.31	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
172.14	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
180.08	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
211.13	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
220.51	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
234.23	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00
243.62	.7867E+00	.51313	.9532E-04	3.15	.1171E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 22

EXPERIMENTO 22

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 353 °K

CONCENTRACION DE HCl = .10M

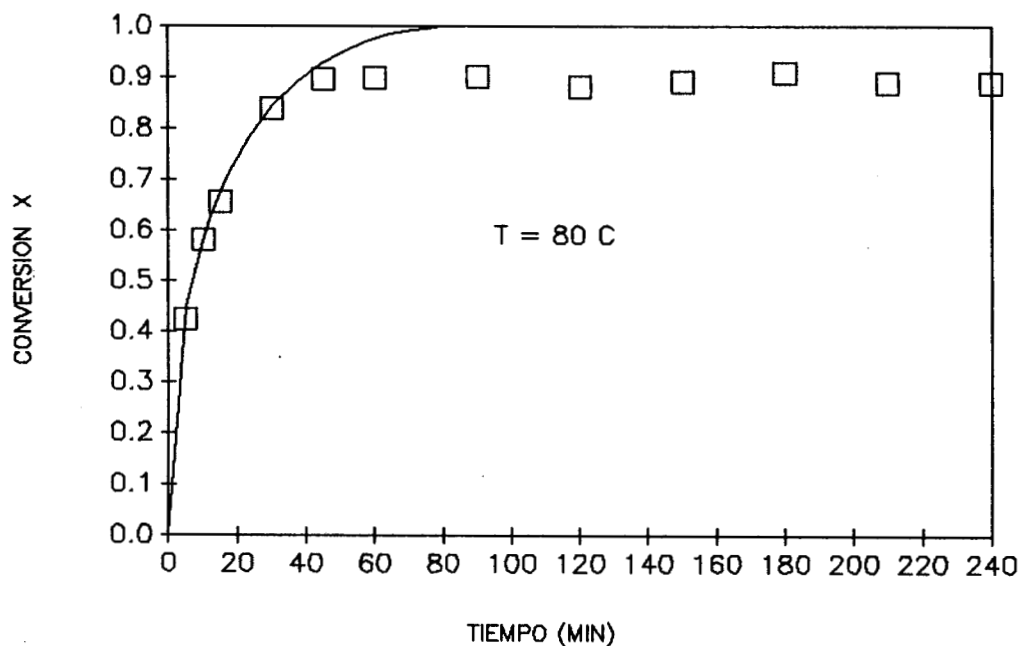
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	9.29	42.4500
2	10	12.54	58.1500
3	15	13.93	65.7000
4	30	18.00	83.9800
5	45	18.96	89.6200
6	60	19.54	89.9300
7	90	19.33	90.0800
8	120	18.85	88.0900
9	150	19.07	89.1500
10	180	19.38	90.9700
11	210	19.06	88.8700
12	240	19.21	89.0200

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 22

EXPERIMENTO 22

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 353 °K
HCl = .100M
FECL3 = .050M
NaCl = .0M
% PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .152
PH = -.28
POROSIDAD = .1723
Damkholer = 70.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .500E-07
CTE.CINETICA= .18E+00

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.470E-02	.357E-01	.945E-02	.172E-03	.101E-05

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.123E-05	.357E-10	.497E-10	.817E-19

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
2.28	.9758E+00	.07073	.6713E-04	1.12	.1722E-02
6.85	.9486E+00	.14641	.8141E-04	1.12	.7655E-02
11.41	.9281E+00	.20052	.8618E-04	1.12	.1476E-01
15.97	.9111E+00	.24360	.8874E-04	1.12	.2229E-01
20.54	.8964E+00	.27981	.9040E-04	1.12	.3000E-01
25.10	.8831E+00	.31126	.9160E-04	1.12	.3779E-01
29.66	.8710E+00	.33917	.9253E-04	1.12	.4561E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.404E-02	.158E-01	.330E-01	.426E-01
PB 2+	.196E-01	.147E-01	.765E-02	.368E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
34.23	.8598E+00	.36433	.9327E-04	1.12	.5344E-01
38.79	.8494E+00	.38728	.9388E-04	1.12	.6125E-01
43.35	.8395E+00	.40841	.9440E-04	1.12	.6903E-01
52.48	.8212E+00	.44628	.9525E-04	1.12	.8451E-01
57.04	.8126E+00	.46342	.9560E-04	1.12	.9219E-01
61.61	.8044E+00	.47956	.9591E-04	1.12	.9984E-01
70.73	.7888E+00	.50927	.9646E-04	1.12	.1150E+00
79.86	.7741E+00	.53611	.9692E-04	1.12	.1300E+00
84.42	.7671E+00	.54862	.9712E-04	1.12	.1375E+00

APENDICE A: EXPERIMENTO 22

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
88.99	.7602E+00	.56059	.9731E-04	1.12	.1449E+00
93.55	.7536E+00	.57207	.9749E-04	1.12	.1523E+00
98.11	.7470E+00	.58309	.9766E-04	1.12	.1596E+00
102.68	.7407E+00	.59369	.9781E-04	1.12	.1669E+00
107.24	.7344E+00	.60389	.9796E-04	1.12	.1741E+00
111.80	.7283E+00	.61372	.9810E-04	1.12	.1814E+00
116.37	.7223E+00	.62321	.9823E-04	1.12	.1886E+00
120.93	.7164E+00	.63238	.9836E-04	1.12	.1957E+00
125.49	.7106E+00	.64125	.9848E-04	1.12	.2028E+00
130.06	.7048E+00	.64983	.9859E-04	1.12	.2099E+00
134.62	.6992E+00	.65814	.9870E-04	1.12	.2170E+00
139.18	.6937E+00	.66620	.9880E-04	1.12	.2240E+00
143.75	.6882E+00	.67402	.9890E-04	1.12	.2310E+00
148.31	.6828E+00	.68161	.9899E-04	1.12	.2380E+00
152.87	.6775E+00	.68898	.9909E-04	1.12	.2449E+00
157.44	.6723E+00	.69614	.9917E-04	1.12	.2518E+00
162.00	.6671E+00	.70311	.9926E-04	1.12	.2587E+00
166.56	.6620E+00	.70989	.9934E-04	1.12	.2655E+00
171.13	.6569E+00	.71649	.9942E-04	1.12	.2723E+00

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.169E-02	.137E-01	.279E-01	.344E-01
PB 2+	.213E-01	.163E-01	.105E-01	.778E-02

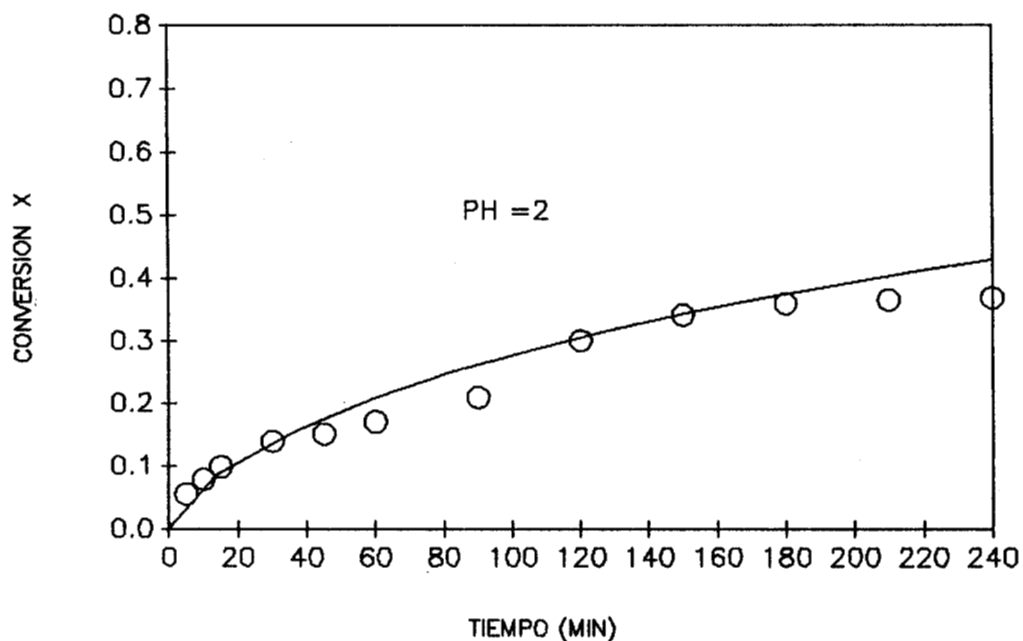
TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
175.69	.6519E+00	.72291	.9949E-04	1.12	.2791E+00
180.25	.6470E+00	.72917	.9956E-04	1.12	.2859E+00
184.82	.6421E+00	.73528	.9963E-04	1.12	.2926E+00
189.38	.6372E+00	.74123	.9970E-04	1.12	.2993E+00
193.94	.6324E+00	.74703	.9977E-04	1.12	.3060E+00
198.51	.6277E+00	.75270	.9983E-04	1.12	.3126E+00
203.07	.6230E+00	.75823	.9989E-04	1.12	.3193E+00
207.63	.6183E+00	.76363	.9995E-04	1.12	.3259E+00
212.20	.6137E+00	.76890	.1000E-03	1.12	.3324E+00
216.76	.6091E+00	.77405	.1001E-03	1.12	.3390E+00
221.32	.6045E+00	.77909	.1001E-03	1.12	.3455E+00
225.89	.6000E+00	.78401	.1002E-03	1.12	.3520E+00
230.45	.5955E+00	.78882	.1002E-03	1.12	.3585E+00
235.01	.5910E+00	.79353	.1003E-03	1.12	.3649E+00
239.58	.5866E+00	.79814	.1003E-03	1.12	.3714E+00
244.14	.5822E+00	.80264	.1004E-03	1.12	.3778E+00
248.70	.5779E+00	.80705	.1004E-03	1.12	.3842E+00
253.27	.5735E+00	.81136	.1005E-03	1.12	.3905E+00

EXPERIMENTO 23

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO = 5
 TEMPERATURA = 353 °K
 CONCENTRACION DE HCl = .01M
 CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M
 CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	1.260	5.6000
2	10	1.794	7.9500
3	15	2.251	9.9400
4	30	3.196	14.0400
5	45	3.470	15.2200
6	60	3.915	17.1300
7	90	4.830	21.0100
8	120	6.973	30.0700
9	150	7.955	34.2000
10	180	8.379	35.9800
11	210	8.523	36.5700
12	240	8.606	36.9100

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 800 mL.
 BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 23

EXPERIMENTO 23

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
TEMP = 80.0°C
HCl = .010M
FECL3 = .050M
NaCl = .0M
% PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .063
PH = .67
POROSIDAD = .1723
Damkholer = 70.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .100E-07
CTE.CINETICA= .18E+00

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.577E-02	.370E-01	.716E-02	.871E-04	.284E-06
FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5	
.198E-04	.571E-08	.665E-08	.108E-14	

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.23	.9987E+00	.00402	.4358E-05	2.10	.5398E-05
.46	.9974E+00	.00768	.7639E-05	2.10	.1974E-04
.68	.9963E+00	.01107	.1022E-04	2.10	.4102E-04
.91	.9952E+00	.01422	.1232E-04	2.10	.6784E-04
1.14	.9942E+00	.01719	.1407E-04	2.10	.9923E-04
3.42	.9872E+00	.03805	.2244E-04	2.10	.4910E-03
5.70	.9814E+00	.05471	.2638E-04	2.10	.1023E-02

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.191E-01	.275E-01	.407E-01	.488E-01
PB 2+	.128E-01	.939E-02	.392E-02	.594E-03

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
17.11	.9635E+00	.10552	.3274E-04	2.10	.3897E-02
28.52	.9497E+00	.14356	.3518E-04	2.10	.7349E-02
51.34	.9278E+00	.20131	.3744E-04	2.10	.1488E-01
62.75	.9186E+00	.22479	.3809E-04	2.10	.1879E-01
74.15	.9102E+00	.24589	.3858E-04	2.10	.2274E-01
96.97	.8951E+00	.28283	.3930E-04	2.10	.3070E-01
108.38	.8882E+00	.29928	.3958E-04	2.10	.3470E-01
119.79	.8817E+00	.31465	.3982E-04	2.10	.3870E-01
131.20	.8754E+00	.32911	.4002E-04	2.10	.4269E-01

APENDICE A: EXPERIMENTO 23

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH	NUEVO	FD
142.60	.8694E+00	.34276	.4020E-04	2.10	.4669E-01	1
154.01	.8637E+00	.35571	.4037E-04	2.10	.5067E-01	
165.42	.8582E+00	.36802	.4051E-04	2.10	.5465E-01	
176.83	.8528E+00	.37977	.4065E-04	2.10	.5862E-01	
188.24	.8476E+00	.39101	.4077E-04	2.10	.6258E-01	
199.65	.8426E+00	.40179	.4088E-04	2.10	.6653E-01	
211.05	.8377E+00	.41214	.4098E-04	2.10	.7047E-01	
222.46	.8329E+00	.42210	.4108E-04	2.10	.7440E-01	
233.87	.8283E+00	.43171	.4117E-04	2.10	.7832E-01	
245.28	.8238E+00	.44098	.4125E-04	2.10	.8222E-01	
256.69	.8193E+00	.44995	.4133E-04	2.10	.8612E-01	

EXPERIMENTO 24

GRAMOS DE MINERAL POR LITRO DE SOLUCION = 5

TEMPERATURA = 353 °K

CONCENTRACION DE HCl = .0M

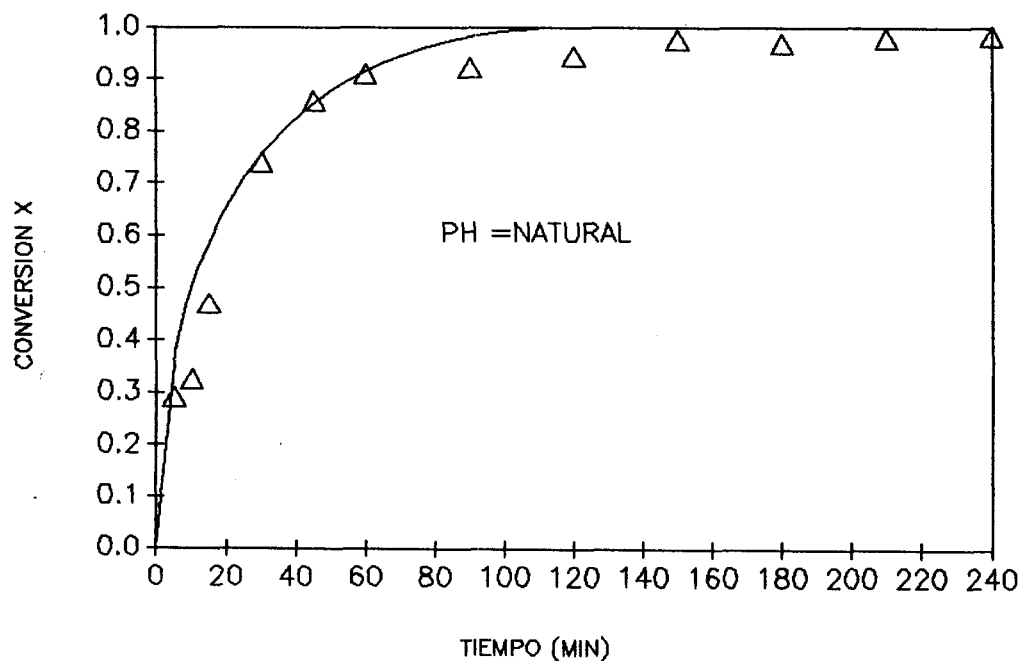
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .05M

CONCENTRACION DE NaCl = .0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	13.35	29.1700
2	10	14.55	32.5600
3	15	21.67	46.9500
4	30	33.67	73.8600
5	45	39.49	85.7300
6	60	42.15	90.9300
7	90	42.70	92.1200
8	120	44.63	94.3700
9	150	45.10	97.5300
10	180	45.48	96.9300
11	210	45.24	97.8200
12	240	45.64	98.2700

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600 mL.

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 45.00 %



APENDICE A: EXPERIMENTO 24

EXPERIMENTO 24

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 5.0
 TEMP = 353 °K
 HCl = .000M
 FECL3 = .050M
 NaCl = .0M
 % PB = 45.00

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA = .053
 PH = 1.99
 POROSIDAD = .1723
 Damkholer = 70.00
 DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .350E-06
 CTE.CINETICA= .18E+00

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.580E-02	.368E-01	.687E-02	.788E-04	.235E-06

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.452E-03	.284E-05	.308E-05	.225E-09

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.33	.9758E+00	.07073	.2531E-04	3.43	.1722E-02
1.96	.9170E+00	.22887	.3332E-04	3.45	.1952E-01
2.61	.9015E+00	.26727	.3404E-04	3.45	.2718E-01
3.26	.8878E+00	.30027	.3455E-04	3.45	.3495E-01

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+	.459E-02	.163E-01	.336E-01	.435E-01
PB 2+	.193E-01	.145E-01	.731E-02	.326E-02

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
5.22	.8531E+00	.37916	.3545E-04	3.46	.5841E-01
11.73	.7745E+00	.53536	.3659E-04	3.48	.1296E+00
28.03	.6421E+00	.73522	.3749E-04	3.50	.2925E+00
37.81	.5767E+00	.80818	.3773E-04	3.51	.3858E+00
47.59	.5160E+00	.86262	.3789E-04	3.52	.4760E+00
57.37	.4579E+00	.90398	.3800E-04	3.53	.5630E+00
67.15	.4011E+00	.93548	.3806E-04	3.53	.6464E+00
76.92	.3443E+00	.95917	.3810E-04	3.54	.7260E+00
TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
86.70	.2865E+00	.97648	.3811E-04	3.54	.8008E+00
96.48	.2264E+00	.98839	.3809E-04	3.54	.8694E+00
106.26	.1623E+00	.99572	.3803E-04	3.54	.9295E+0

APENDICE A: EXPERIMENTO 25

EXPERIMENTO

25

GRAMOS DE MINERLA POR LITRO DE SOLUCION = 50.0

TEMPERATURA = 353 °K

CONCENTRACION DE HCl = .000M

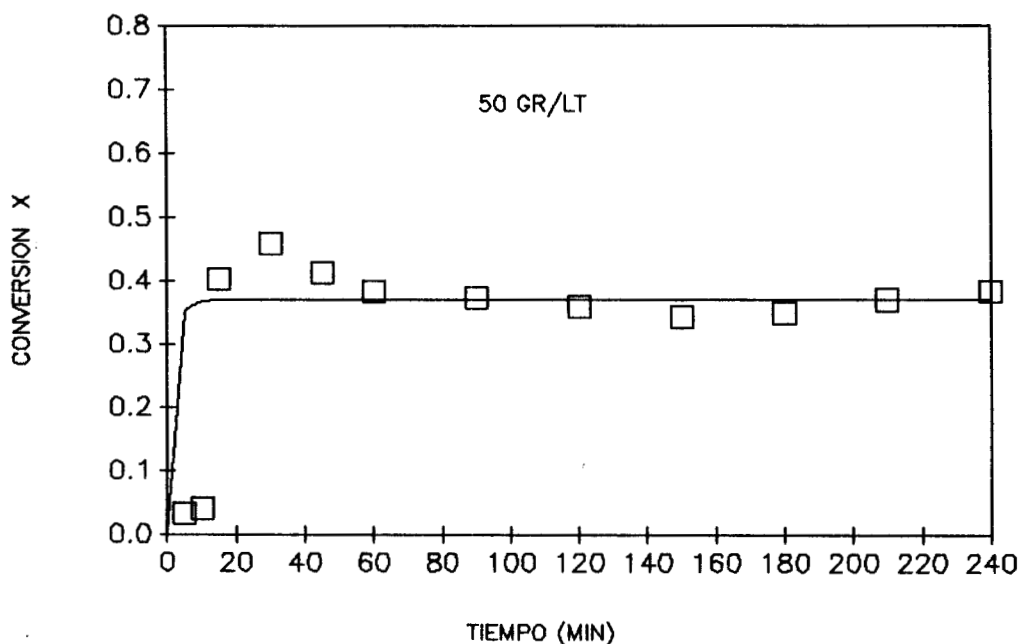
CONCENTRACION DE FeCl₃ = .770M

CONCENTRACION DE NaCl = 1.0M

MUESTRA	TIEMPO, MINUTOS	PPM DE PLOMO	% PLOMO
1	5	7.98	3.28
2	10	7.99	4.06
3	15	7.85	40.42
4	30	8.95	45.93
5	45	8.03	41.35
6	60	7.46	38.41
7	90	7.26	37.38
8	120	7.00	35.92
9	150	6.70	34.38
10	180	6.80	34.95
11	210	7.22	37.05
12	240	7.48	38.39

VOLUMEN INICIAL DE LA SOLUCION LIXIVIANTE = 600.00 mL

BALANCE METALURGICO DE PLOMO = 48.23 %



EXPERIMENTO 25

CONDICIONES INICIALES :

GR/LT = 50.0
TEMP = 353 °K
HCl = .000M
FECL3 = .770M
NaCl = 1.0M
% PB = 48.25

CARACTERISTICAS DEL MINERAL :

FZA. IONICA CORREGIDA =1.722
PH = 2.13
POROSIDAD =.1860
Damkholer =70.00
DIFUSIVIDAD EFECTIVA Fe 3+ = .500E-06
CTE.CINETICA= .18E+00

DISTRIBUCION DE FE 3+

FE+3	FEC1+2	FEC12+	FEC13	FECL4-
.513E-02	.257E+00	.455E+00	.492E-01	.345E-02

FE(OH)2+	FE(OH)2+	FE2(OH)2+4	FE2(OH)4+5
.272E-03	.500E-05	.100E-04	.133E-08

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.00	.9890E+00	.03262	.1450E-02	3.57	.3599E-03
PRECIPITACION DE PBC12					
.01	.9875E+00	.03689	.2299E-03	3.57	.4612E-03
.03	.9830E+00	.05018	.2299E-03	3.57	.8585E-03

PERFILES DE CONCENTRACION

	FE 3+	PB 2+
.707E+00	.721E+00	.744E+00
.270E-01	.211E-01	.118E-01
.758E+00	.616E-02	

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.04	.9803E+00	.05783	.2299E-03	3.57	.1145E-02
.05	.9795E+00	.06011	.2299E-03	3.57	.1238E-02
.06	.9774E+00	.06632	.2299E-03	3.57	.1511E-02
.07	.9755E+00	.07181	.2299E-03	3.57	.1776E-02
.09	.9737E+00	.07674	.2299E-03	3.57	.2033E-02
.16	.9661E+00	.09823	.2299E-03	3.57	.3365E-02
.17	.9654E+00	.10027	.2299E-03	3.57	.3510E-02
.20	.9637E+00	.10507	.2299E-03	3.57	.3863E-02
.31	.9570E+00	.12364	.2299E-03	3.57	.5397E-02
.36	.9543E+00	.13101	.2299E-03	3.57	.6082E-02
.37	.9541E+00	.13158	.2299E-03	3.57	.6137E-02

APENDICE A: EXPERIMENTO 25

PERFILES DE CONCENTRACION

FE 3+ .711E+00 .719E+00 .732E+00 .739E+00
PB 2+ .269E-01 .236E-01 .184E-01 .153E-01

TIEMPO(MIN)	Rc/Rp	CONVERSION	SOLUBILIDAD	pH NUEVO	FD
.37	.9539E+00	.13214	.2299E-03	3.57	.6192E-02
.41	.9523E+00	.13647	.2299E-03	3.57	.6617E-02
.50	.9488E+00	.14595	.2299E-03	3.57	.7604E-02
1.00	.9364E+00	.17894	.2299E-03	3.57	.1162E-01
3.29	.9206E+00	.21977	.2299E-03	3.57	.1791E-01
4.65	.9183E+00	.22574	.2299E-03	3.57	.1896E-01
5.57	.9175E+00	.22755	.2299E-03	3.57	.1928E-01
7.85	.9168E+00	.22932	.2299E-03	3.57	.1960E-01
8.76	.9167E+00	.22958	.2299E-03	3.57	.1965E-01
9.67	.9167E+00	.22973	.2299E-03	3.57	.1967E-01
10.13	.9167E+00	.22978	.2299E-03	3.57	.1968E-01
14.69	.9166E+00	.22992	.2299E-03	3.57	.1971E-01
16.98	.9166E+00	.22993	.2299E-03	3.57	.1971E-01
30.67	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
37.51	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
44.36	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
51.20	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
58.05	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
64.89	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
71.74	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
78.58	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
85.43	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
92.27	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
99.12	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
105.96	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
112.81	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
119.65	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
126.50	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
133.34	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
140.19	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
153.88	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
160.72	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
167.57	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
174.41	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
181.26	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
188.10	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
194.95	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
215.48	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
222.33	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
229.17	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
236.02	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
242.86	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
249.71	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01
256.55	.9166E+00	.22994	.2299E-03	3.57	.1971E-01

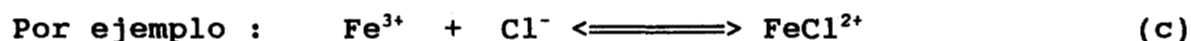
B1.- CORRECCION DE LAS CONSTANTES DE EQUILIBRIO POR LA FUERZA IONICA Y TEMPERATURA

Las constantes de equilibrio en términos de concentración, K_c , dependen de la temperatura y de la concentración de los iones presentes en la lixiviación, y por eso, su corrección se hace necesaria para estimar la solubilidad del cloruro de plomo. La interacción electrostática debido a la concentración y a la carga de todos los iones para las condiciones de cada experimento es tomada en cuenta al corregir las constantes de equilibrio, K_c , por la fuerza iónica.

Las constantes de equilibrio en términos de actividad (K_a) para cada reacción de acomplejación, no dependen de la fuerza iónica y pueden dividirse en sus componentes de concentración y coeficiente de actividad.



$$K_a = \frac{a_c^c}{a_a^a a_b^b} = \frac{[C^c]}{[A^a] [B^b]} \frac{\gamma_c^c}{\gamma_a^a \gamma_b^b} = K_c K_\gamma \quad (b)$$



$$K_a = \frac{[FeCl^{2+}]}{[Fe^{3+}] [Cl^-]} \frac{\gamma_{FeCl}^{2+}}{\gamma_{Fe}^{3+} \gamma_{Cl}^-} \quad (d)$$

Para convertir los aniones o cationes a sales se multiplica y divide por la concentración y el coeficiente de actividad del ión respectivo:

$$K_a = \frac{[\text{FeCl}^{2+}][\text{Cl}^-][\text{Cl}^-]}{[\text{Fe}^{3+}][\text{Cl}^-][\text{Cl}^-][\text{Cl}^-]} = \frac{\gamma_{\text{FeCl}^{2+}} \gamma_{\text{Cl}^-} \gamma_{\text{Cl}^-}}{\gamma_{\text{Fe}^{3+}} \gamma_{\text{Cl}^-} \gamma_{\text{Cl}^-} \gamma_{\text{Cl}^-}} \quad (e)$$

Como $\gamma_{\text{sal}}^{(\alpha C + \alpha A)} = (\gamma_{\text{cation}}^{\alpha C} \gamma_{\text{anión}}^{\alpha A})$, entonces

$$K_a = K_c \frac{\gamma_{\text{FeCl}^{2+} \text{Cl}_2}^3}{\gamma_{\text{FeCl}_3}^4} \quad (f)$$

Cada ión simple o complejo se considera como una especie química distinta.

Para la sal de $\text{FeCl}^{2+} \text{Cl}_2$ $z_+ = 2$ $z_- = -1$
 Para la sal de FeCl_3 $z_+ = 3$ $z_- = -1$

$$K_\gamma = \frac{\gamma_{\text{FeCl}^{2+} \text{Cl}_2}^3}{\gamma_{\text{FeCl}_3}^4} \quad (g)$$

Tomando el logaritmo de la ecuación anterior

$$\log K_\gamma = 3 \log \gamma_{\text{FeCl}^{2+} \text{Cl}_2} - 4 \log \gamma_{\text{FeCl}_3} \quad (h)$$

Los coeficientes de actividad para cada sal pueden entonces ser calculados a partir de la ecuación de Bromley (1973)

$$\log \gamma_{\pm} = \frac{-A|Z_+ Z_-| I^{1/2}}{1 + I^{1/2}} + \frac{(0.06 + 0.6B)|Z_+ Z_-| I}{1 + \frac{1.5}{|Z_+ Z_-|}} + BI$$

(i)

donde $\gamma_{\pm}$ = Coeficiente de actividad de la sal

A = Constante Dieléctrica

B = Parámetro B (Bromley)

I = Fuerza Iónica de la solución

z_+ = Carga Iónica del catión

z_- = Carga Iónica del anión

α = Coeficiente estequiométrico

La constante dieléctrica (A) y el parámetro B, varían con la temperatura, A se calcula empleando la siguiente relación de Debye y Hückel (1923) y B por medio de una correlación.

$$A = 0.4917 + 6.709E-4 * T + 3.5213E-6 * T^2 \quad (j)$$

$$B = 0.0041311 * T - 5.14E-5 * T^2 + 2.73E-7 * T^3 \quad (k)$$

T = Temperatura °C

Para calcular el valor de K_c a otra fuerza iónica, I, se igualan las $K_a^I = K_a^{I_0}$. Donde :

$$K_a^{I_0} = K_c^{I_0} * K_{\gamma}^{I_0} \quad (l)$$

Despejando K_c^I , se tiene :

$$K_c^I = \frac{K_c^{I_0} * K_{\gamma}^{I_0}}{K_{\gamma}^I} \quad (m)$$

Sustituyendo los valores del coeficiente de actividad de la ecuación (i), en la ecuación (h) y posteriormente en la ecuación (m), se obtiene el valor de la constante K_c para la fuerza iónica deseada, I.

Originalmente el parámetro B para cada complejo, de la ecuación (k), es determinado como la suma de los iones individuales que forman el complejo y cuyos valores son arbitrarios (Bromley, 1973). Sin embargo, al no contar con todos los valores de B, para todas las sales, estas se calcularon usando dos valores de K_c a fuerzas iónicas dentro del rango de interés.

APENDICE B

Se utiliza la ecuación de Lewis para el cálculo de la fuerza iónica.

$$I = 1/2 \sum c_i z_i^2 \quad (n)$$

donde : c_i = concentración molar de las especies en solución
 z_i = carga iónica.

El efecto de la temperatura en el proceso de lixiviación se consideró a través de la ecuación de Van't Hoff.

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta H}{RT} \quad (ñ)$$

donde: K = Constante de equilibrio.
 ΔH = Entalpía de reacción.
 T = Temperatura ($^{\circ}K$)
 R = Constante Universal de los gases.

CONSTANTES DE EQUILIBRIO Y ENTALPIAS
A LA TEMPERATURA DE 298 °K

	REACCION	FZA. IONICA REPORTADA	KEQ.	ΔH (Cal/mol)	B
1	$\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- = \text{FeCl}^+$	0	30.20	0.91	0.173
2	$\text{Fe}^{3+} + 2\text{Cl}^- = \text{FeCl}_2^+$	0	134.90	0.97	0.174
3	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^- = \text{FeCl}_3$	0	13.50	10.29	0.148
4	$\text{Fe}^{3+} + 4\text{Cl}^- = \text{FeCl}_4^-$	0	0.16	13.86	0.115
5	$\text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- = \text{Fe}(\text{OH})^{2+}$	0	11.23E11	-3.00	0.198
6 *	$\text{Fe}^{3+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$	1	7.94E21	-6.00	0.290
7 *	$2\text{Fe}^{3+} + 2\text{OH}^- = \text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$	1	7.94E24	-16.20	0.286
8 *	$3\text{Fe}^{3+} + 4\text{OH}^- = \text{Fe}_3(\text{OH})_4^{5+}$	1	1.00E51	-38.00	0.276
9	$\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$	1	1.62E-14	-13.80	0.136
10	$\text{Fe}^{2+} + \text{Cl}^- = \text{FeCl}^+$	0	2.24	4.30	0.170
11	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{FeCl}_2^+$	0	82.51	4.30	0.134
12	$\text{Pb}^{2+} + \text{Cl}^- = \text{PbCl}^+$	0	39.80	3.80	0.176
13	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{PbCl}_2$	0	60.30	1.08	0.249
14	$\text{Pb}^{2+} + 3\text{Cl}^- = \text{PbCl}_3^-$	0	47.90	2.17	0.183
15	$\text{Pb}^{2+} + 4\text{Cl}^- = \text{PbCl}_4^{2-}$	0	24.00	3.53	0.042

Los valores de las constantes de equilibrio con sus respectivas entalpías para los complejos con Fe^{3+} , y Pb^{2+} , fueron en su mayoría tomados de Helgeson, H.C., (1969) y de los valores marcados con * se tomaron de Smith y Martell (1976).

B2.- POROSIDAD Y DIFUSIVIDAD EFECTIVA

La porosidad de la capa de azufre formada en la oxidación se define como la relación del volumen de espacios vacíos y el volumen total de la partícula y se calculó de la siguiente manera (Lapidus, G. T., 1991):

$$\epsilon = \frac{\text{Vol. del PbS} - \text{Vol del Azufre}}{\text{Volumen total del mineral}} \quad (o)$$

Debido a que el contenido de galena en el mineral tiene una ligera variación en las corridas experimentales, también hay una variación en este parámetro. A partir de la porosidad, se calcula la difusividad efectiva, considerando que la tuortosidad es el inverso de la porosidad, esto es :

$$Deff = \frac{D_{libre}}{\tau} \quad \epsilon = D_{libre} \epsilon^2 \quad (p)$$

La difusividad efectiva calculada está referida al ión férrico y es la que se toma como referencia para determinar los tiempos adimensionales de la lixiviación. Hay un error máximo de 50% en todos los experimentos entre el valor calculado por la ecuación (p) el valor ajustado de difusividad efectiva y, en algunos casos, el valor es el mismo. La necesidad de tener que ajustar este parámetro es debido a que no se cuenta con datos precisos de difusividad libre para el ión férrico y no se conocen valores precisos de la porosidad ni de la tortuosidad, para las distintas condiciones experimentales. Fuerstenau et al(1986) observaron que la difusividad efectiva aumenta linealmente hasta una concentración de 0.1M de $FeCl_3$; además disminuye con la presencia de NaCl, mientras que Rubcumintara y Han (1990), calcularon difusividades efectivas que decrecen con el incremento de cloruro férrico. Sin embargo, a pesar de esta disparidad, los valores de difusividad efectiva ajustados se mantienen en un mismo orden de magnitud.

C.1- ADIMENSIONAMIENTO DE LA ECUACION DE DIFUSION

El adimensionamiento de la ecuación de difusión para núcleo decreciente con frontera móvil se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$\epsilon \frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{D_i}{R} \frac{\partial}{\partial R} [R^2 \frac{\partial C_i}{\partial R}] \quad (q)$$

$$R_c < R < R_p$$

Para el adimensionamiento de la ecuación de difusión se utilizan las siguientes variables adimensionales (Taylor et al., 1983).

$$\eta = \frac{R-R_c}{R_p-R_c}; \quad \phi = \frac{R_c}{R_p}; \quad C_i^* = \frac{C_i}{C_j}; \quad \tau = \frac{D_j t}{R_p^2}; \quad D_i^* = \frac{D_i}{D_j} \quad (r)$$

Se utilizaron la concentración y la difusividad del ión férrico para adimensionalizar la concentración, el tiempo y las difusividades efectivas de los demás compuestos. Sustituyendo las variables adimensionales en la ecuación (q) se tiene :

$$\frac{\partial C_i^*}{\partial \tau} \Big|_R = \frac{D_i^* R_p^2}{\epsilon} \left[\frac{\partial^2 C_i^*}{\partial R^2} + \frac{2 \partial C_i^*}{R \partial R} \right] \tau \quad (s)$$

$$\frac{\partial C_i^*}{\partial \tau} \Big|_R = \frac{\partial C_i^*}{\partial R} \Big|_\eta + \frac{\partial C_i^*}{\partial \eta} \Big|_\tau \frac{\partial \eta}{\partial \tau} \Big|_R \quad (t)$$

APENDICE C

Como la variable adimensional, η , depende de R y $R_c(t)$, entonces,

$$\partial R = R_p (1-\phi) \partial \eta \quad (u)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} |_R = - \frac{(1-\eta)(1-\phi)}{(1-\phi)^2} \frac{d\phi}{d\tau} \quad (v)$$

$d\phi/d\tau$ = velocidad de encogimiento del núcleo
sustituyendo

$$\epsilon \frac{\partial C_i^*}{\partial \tau} |_R = \frac{D_i^*}{(1-\phi)^2} \left[\frac{\partial^2 C_i^*}{\partial \eta^2} + \frac{\partial C_i^*}{\partial \eta} \left[\frac{2(1-\phi)}{\eta(1-\phi) + \phi} + \frac{\epsilon(1-\eta)(1-\phi)}{D_i^*} \frac{d\phi}{d\tau} \right] \right] \quad (x)$$

$$0 < \eta < 1$$

La velocidad de encogimiento del núcleo adimensionalizada es la siguiente :

$$\frac{d\phi}{d\tau} = \frac{C_i^*}{\rho_M} \frac{D_{PT}^*}{(1-\phi)} \frac{\partial C_{PT}}{\partial \eta} \quad (y)$$

conversión esta dada por :

$$X = (1-\phi)^3 \quad (z)$$

C2.- Método Numérico

Dado que el perfil de las curvas es suave, se utilizó el método de colocación ortogonal, con dos puntos internos, para la transformación del sistema de ecuaciones diferenciales parciales con fronteras móviles. La solución de las 21 ecuaciones algebraicas no lineales obtenidas se resolvió por el método de Newton Raphson, con subrutinas ZSPOW de la paquetería IMSL. El diagrama de flujo, para el programa de simulación se muestra en la Figura 14.

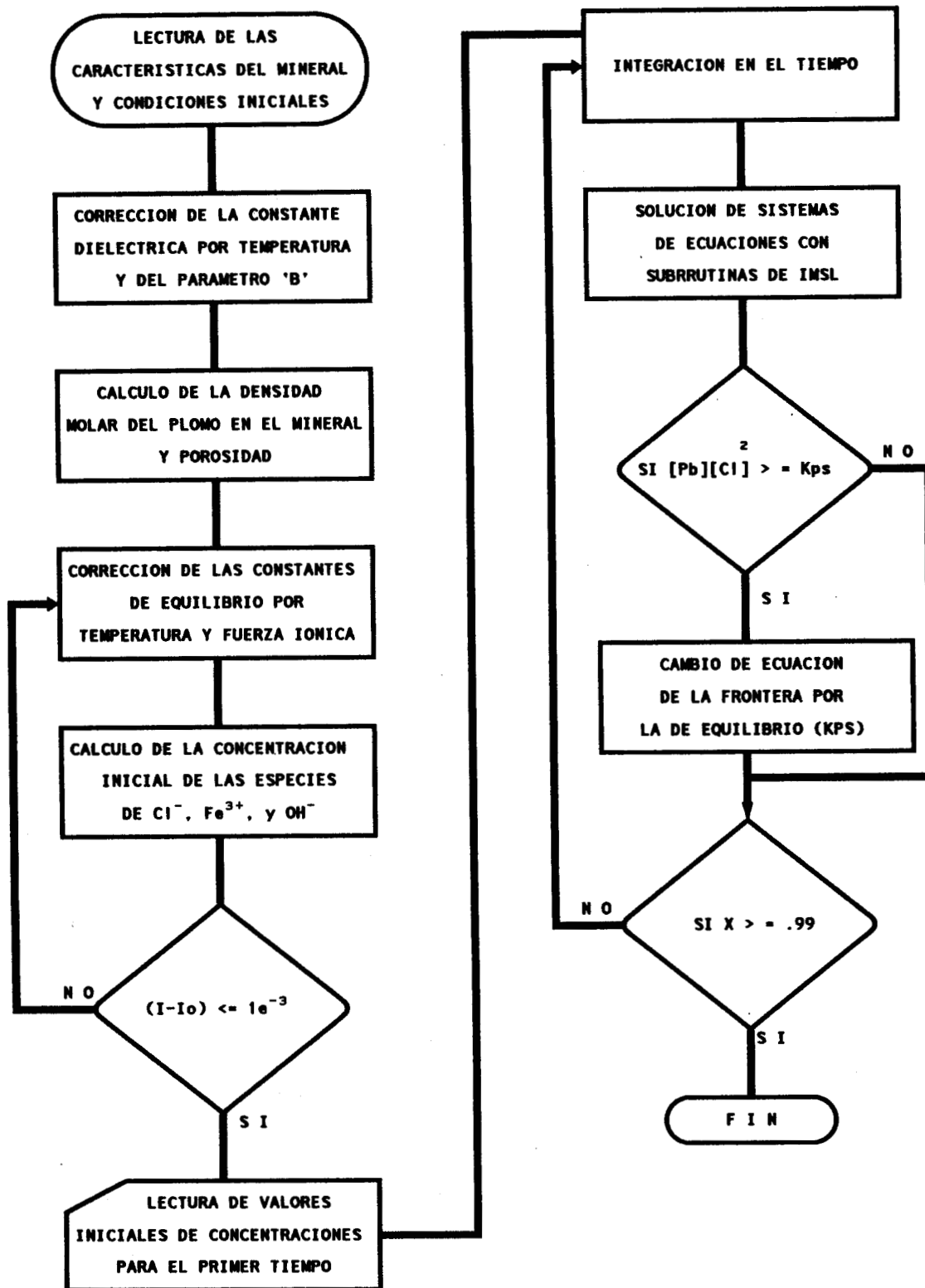


Figura 14. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL PROGRAMA DE SIMULACION

CONDICIONES EMPLEADAS PARA EL ANALISIS DE PLOMO

Longitud de Onda	Ancho de Banda	Intervalo Optimo de trabajo $\mu\text{g/mL}$
217.0	1.0	5-20
283.3	0.5	10-40

Para evitar la precipitación de plomo en las muestras se adicionó una cantidad mínima de cloruro de sodio a cada muestra. Los problemas de congestionamiento en el espectrofotómetro de absorción atómica se contrarrestaron aspirando HNO_3 AL 5%, después de cada muestra leída.