



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

ANTEPROYECTO PLANTA PILOTO DE SALES  
DE POTASIO EN CERRO PRIETO,  
BAJA CALIFORNIA.

T E S I S

Que para obtener el titulo de  
INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

IRMA ALICIA MIRELES LEPE



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Tesis 1977

ADQ

ECHA

REC

S

279



QUIMICA

	<b>PRESIDENTE</b>	Prof. I.Q. ROBERTO ANDRADE CRUZ
	<b>VOCAL</b>	Prof. I.Q.M. FERNANDO MALDONADO M.
<b>JURADO</b>	<b>SECRETARIO</b>	Prof. I.Q. ENRIQUE BRAVO MEDINA
	<b>1er. SUPLENTE</b>	Prof. I.Q. ALFONSO MONDRAGON M.
	<b>2do. SUPLENTE</b>	Prof. I.Q. JORGE R. MARTINEZ P.

Sitio donde se desarrollo el tema : LABORATORIO DE LA RESIDENCIA DE CERRO PRIETO, B.C. , DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS GEOTERMICOS DE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y EN EL-LABORATORIO DE LA COMISION DE FOMENTO MINERO.

Sustentante: IRMA ALICIA MIRELES LEPE *Irma Mireles*

Asesor del tema: I.Q. ENRIQUE BRAVO MEDINA *Bravo Medina*

A mi querida hija:

ERIKA XIOMARA

Quien fué, es y será -  
el motivo de seguir -  
siempre adelante.

A mi madre:

DOLORES LEPE DE MIRELES

Por su abnegación, -  
esfuerzo y sacrifi--  
cio.

A la memoria de mi padre:

MIGUEL MIRELES CRUZ

A la memoria de mi tía:

FELICITAS DE LA CRUZ

A mis hermanos:

OLGA YOLANDA

MARIA LILY

JOSE LUIS

MARIA LUISA

BLANCA ESTELA

JOSE ALFREDO

MARTHA LORENA



## I N D I C E

## CAPITULO I

I.-	Introducción	Página	1
I.1.-	Objetivo	"	2
I.2.-	Procesos de obtención para sales de potasio.	"	2
I.3.-	Importancia en México	"	9
I.4.-	Zonas geotérmicas	"	10

## CAPITULO II

II.-	Generalidades	Página	12
II.1.-	Sales de potasio en México y sus usos	"	15
II.2.-	Consumo	"	19
II.3.-	Desarrollo de una zona geotérmica	"	23
II.4.-	Localización geográfica de las fuentes geotérmicas en la República Mexicana	"	25
II.5.-	Campo geotérmico Cerro Prieto	"	30
II.6.-	La energía geotérmica en Cerro Prieto, Mexicali, B.C.	"	31

## CAPITULO III

III.-	Desarrollo del proceso	Página	36
III#-	Estudio experimental	"	37
III.1.-	Introducción	"	37

III.2.- Evaporación solar	Página	37
III.3.- Cristalización fraccionada	"	39
III.4.- Flotación	"	52
III.5.- Reactivos de flotación y su uso	"	57
III.6.- Proceso propuesto	"	75

#### CAPITULO IV

IV.- Conclusiones	Página	87
Bibliografía	Página	90

## INDICE DE FIGURAS

	Página	
Fig. 1.- Producción de sales de potasio a partir del cloruro de potasio	3	
Fig. 2#.- Evaluación preliminar de reservorios geotérmicos	"	12
Fig. 3.- Producción mundial de sales de potasio	"	20
Fig. 4.- Consumo aparente de cloruro de potasio (México)	"	20
Fig. 5.- Importe del consumo aparente de cloruro de potasio - (México)	"	20
Fig. 6.- Precio unitario de cloruro de potasio en México	"	21
Fig. 7.- Importación de potasio y derivados (México)	"	21
Fig. 8.- Principales usos del cloruro de potasio	"	24
Fig. 9.- Estudio de magnometría	"	26
Fig. 10.- Estudio de flujo térmico	"	26
Fig. 11.- Estudio de gravimetría	"	27
Fig. 12.- Medida de resistividad	"	27
Fig. 13.- Estudio sísmicos	"	28
Fig. 14.- Focos termales de la República Mexicana	"	29

	Página
Fig. 15.- Solubilidad del KCl en solución saturada de NaCl	38
Fig. 16 <sup>#</sup> .- Control analítico de salmuera geotérmica de Cerro Prieto	" 40
Fig. 16A <sup>#</sup> .- Control analítico de salmuera geotérmica de Cerro Prieto, B.C.	" 42
Fig. 17.- Solubilidad del KCl en solución saturada de NaCl en agua de la laguna de evaporación en cerro Prieto, B.C.	" 44
Fig. 18.- Solubilidad del CaCl <sub>2</sub> en solución saturada de NaCl en agua de la laguna de evaporación en Cerro Prieto, B.C.	" 45
Fig. 19.- Solubilidades de KCl y NaCl en soluciones saturadas con respecto a ambas	" 47
Fig. 20.- Solubilidades en el sistema KCl-NaCl-H <sub>2</sub> O	" 47
Fig. 21 <sup>#</sup> .- Control analítico de agua geotérmica	" 53
Fig. 22.- Solubilidades del KCl y CaCl <sub>2</sub> en solución saturada de NaCl en agua de la laguna de evaporación en Cerro Prieto, B.C.	" 54
Fig. 23 a Fig. 33.- Pruebas de flotación	64 -74

Fig. 34.-	Proceso propuesto	Página	76
Fig. 35.-	Balance de materia del diagrama del proceso propuesto	"	77 -81
#	Tabla.		

I.- I N T R O D U C C I O N .

## 1.1.- OBJETIVO.

Dado que el potasio es uno de los tres principales nutrientes de las plantas y en consecuencia un porcentaje mayor al 95% de su producción total - se utiliza en la formulación de fertilizantes, por lo que la industria de potasa depende principalmente de la demanda mundial de dichos compuestos, aunque también se utiliza en la síntesis de diversas sustancias químicas (ver figura No. 1, pág. No. 3).

En la presente tesis se plantea un método de obtención de sales de potasio con la finalidad de - aprovechar recursos naturales del país.

## 1.2.- PROCESOS DE OBTENCION PARA SALES DE POTASIO.

Las fuentes de potasio son dos tipos:

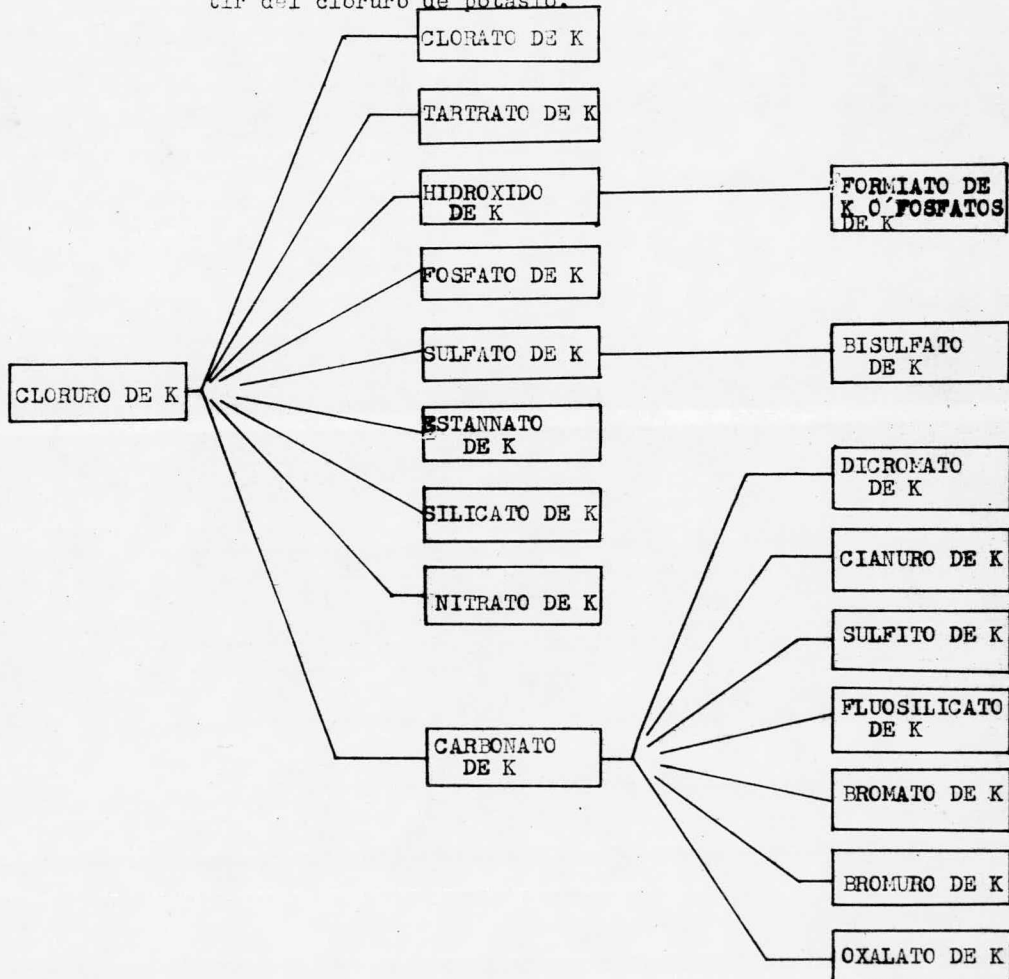
Depósitos en capa  
Salmuera

### a).- Depósitos en capa.

Los depósitos profundos de potasio han sido descubiertos por análisis de las perforaciones en - exploración de petróleo y cilindros de roca sacados con un taladro anular. La extensión y características del cuerpo mineral después del descubrimiento - era determinado por perforaciones adicionales y análisis de los cilindros de roca; después de que el - sitio es seleccionado por un socavón (galería o mina subterránea), uno de varios métodos de abertura - de socavación, es seleccionado dependiendo de la - geología del área.

La abertura de socavones en los depósitos de

Fig.1. Producción de sales de potasio a partir del cloruro de potasio.





potasa de la Saskatchewan canadiense es particularmente difícil y costoso debido a que el socavón debe extenderse a través de varios estratos (mantos o capas) que contienen agua. La formación blairmore es el estrato más difícil con 60.96 m. y 121.92 m. de arena movedizas y lodos bajo presión hidraulica.

Los socavones son abiertos a través de esta formación existosamente congelando primero, aprovechando la relación solubilidad - temperatura del cloruro de potasio y cloruro de sodio en soluciones saturadas. El mineral se mezcla con la salmuera de cloruro de sodio saturada que selectivamente se disuelve en cloruro de potasio, la salmuera se enfría y el cloruro de potasio cristaliza con un 99% de pureza.

Otra fuente de potasio es a partir de la langbeinita, que en E.U.A. se separa de la halita - su principal impureza, por solución selectiva de halita; el proceso de flotación también se usa para separar la langbeinita del cloruro de potasio o silvita.

Los compuestos de potasio son recuperados de las salmueras, incluyendo salmueras de extracción por solución mediante dos operaciones que son: evaporación y cristalización fraccional, otro método de recuperación es el que se emplea en las salmueras del Lago Searles donde son separadas en evaporadores de triple efecto dejando un licor caliente rico en potasa y borax. El enfriamiento rápido bajo vacío causa que las sales de potasio se cristalicen, facilitando la extracción por sedimentación y centrifugación.

En técnicas para purificar minerales adapta-

bles a sales solubles se usa el proceso de flotación; por lo que se emplea extensamente en los minerales de silvinita y potasa.

La gran mayoría de las compañías en Canadá - utilizan este proceso, a excepción de los midling - donde se usa la flotación seguida de una cristalización de manera que es combinado. Esta operación tiene como objeto recuperar el potasio presente en las colas, únicamente la compañía Allen de la Texas - Gulf la utiliza para el proceso mencionado para producir producto de grado químico.

El proceso de cristalización de los finos, - se utiliza en las industrias en que se pretenda producir producto de naturaleza más pura, dicho proceso se inicia con la disolución de los finos con - - agua a  $93.3^{\circ}\text{C}$ , lo enfrian parcialmente hasta  $37.7^{\circ}\text{C}$  propiciandose la cristalización, el producto se recupera y se pasa a ciclones para separar las partículas menores de 35 mallas; después de ésta operación el potasio esta listo para su empaque y venta.

Tanto el producto blanco fino como el de grado químico se someten a un secado, además el de grado blanco se trata con amina ya que dada su naturaleza higroscópica éste compuesto impide que se torne en sólido.

Se han realizado intentos tanto en los - - E.U.A., Canadá y Reino Unido para recuperar compuestos de potasio solubles de depósitos subterráneos - por el método de extracción por solución, siendo en Saskatchewan, Canadá en 1964, puesto en uso comercial por Kalium Chemicals Tts.

Este es un proceso donde grandes cantidades-

de agua debe ser separada de la solución alimentada, la evaporación y el calor son las mas importantes. Kalium usa dos líneas de evaporadores de múltiple efecto, ocho en total, estos evaporadores son las unidades mas grandes del equipo del procesado en la planta. El vapor para la operación es generado de calentadores de gas natural, todos los requerimientos eléctricos de la planta son producidos por dos generadores de turbina.

En el proceso de evaporación grandes cantidades de sal son precipitadas fuera de la solución, la sal se depósita en una laguna de 1.67 millones de metros cuadrados.

Después la mezcla excedente es separada por centrifugas, los cristales de potasa son finalmente formados en los cristalizadores de cuádruple efecto antes de ser secados y tamizados.

El proceso Kalium de evaporación-cristalización lleva a cabo un estricto control de tamaño de la partícula y produce un producto no polvoso.

El proceso es altamente automatizado pues controla 52 instrumentos por medio de un tablero.

La potasa cristalizada se seca y separa en varios tamaños de partícula por una serie de tamices y es transportada por un elaborado sistema de elevadores y bandas, el producto es mandado a almacenar o directamente a empaque.

#### b).- Salmuera

En estado de sales disueltas los depósitos más importantes son, el mar, lagos salados y agua geotérmica.

El Mar.- El contenido de cloruro de potasio de las aguas del mar es de 760 - - p.p.m. y del total de sales que se obtienen por evaporación del agua - representa el 2.17%.

Lagos Salados.- El Mar Muerto ocupa el primer lugar en contenido de cloruro de potasio ya que es de 14400 - - p.p.m., de las sales que quedan al evaporar el agua representa el 6% y se considera uno de los grandes depósitos naturales de sales del mundo.

El lago salado de donde obtiene actualmente la mayor cantidad de potasio en los E.U.A. ha sido muy explotado, aunque en si no representa un gran volumen dentro de las reservas mundiales.

Agua Geotérmica.- El contenido de cloruro de potasio en la salmuera de Cerro - - Prieto es de 3700 p.p.m. siendo mucho mayor que en el agua de mar.

Obtención de sales a partir de las aguas del Mar Muerto.- El método de evaporación solar es muy usado en muchas regiones áridas y semiáridas del mundo, tal es el caso de Israel en donde practican este método utilizando las aguas del Mar Muerto que está compuesto principalmente por cloruro de sodio, potasio y magnesio.

Utilizando la evaporación solar, inicialmente cristaliza el cloruro de sodio y pequeñas canti-

dades de sulfato de sodio; la cristalización del cloruro de sodio continua hasta que la concentración llega a la línea de saturación entre el cloruro de sodio y la carnalita que es una sal doble de magnesio y potasio ( $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ ) se requieren aproximadamente las dos terceras partes del área total de evaporación para hacer la pre-evaporación y cristalización, que es una tercera parte del total, donde la carnalita y el cloruro de sodio cristaliza juntos formando una mezcla de cristales. Estos cristales se cosechan obteniendo en éste sistema de cristalización el 90% del cloruro de potasio en el área de carnalita, el líquido residual contiene grandes cantidades de cloruro de magnesio que se regresan a las aguas del Mar Muerto.

La cosecha de la mezcla de carnalita-sal se efectúa por medio de una droga cortadora rotatoria horizontal, de donde el lodo es bombeado al área de espesamiento. La salmuera proveniente del área de espesamiento, es regresada a las mismas fosas y el lodo es bombeado a la planta para continuar con el proceso, ya sea por flotación o cristalización.

Obtención de sales de potasio a partir de la salmuera de Cerro Prieto.- Tomando en cuenta que la zona de Cerro Prieto es desértica, el método mas viable para la obtención del cloruro de potasio es utilizando en parte la evaporación solar para concentrar las sales del agua geotérmica hasta una determinada concentración, esta salmuera se trata para separar sílice, una de las impurezas más importantes que hay que eliminar. La salmuera una vez tratada se envía a los evaporadores hasta obtener una mezcla de sales de cloruro de potasio con concentración mayor en relación a la concentración del cloruro

ro de sodio; después de obtener ésta mezcla se procesa por el método de flotación.

### 1.3.- IMPORTANCIA EN MEXICO.

En el plano nacional como el internacional - la producción del cloruro de potasio representa un panorama muy positivo.

En el caso de México, siempre se ha presentado el problema de la no existencia de yacimientos - aprovechables de sales de potasio.

El consumo aparente de cloruro de potasio para fertilizantes está dada directamente por las importaciones de potasio y sus derivados, esto muestra la necesidad de contar con una fuente nacional de abastecimiento de la cuál puedan elaborarse - otros derivados.

En los flúidos geotérmicos de Cerro Prieto, se encuentran en solución gran cantidad de sales disueltas que presentan interés desde el punto de vista de su recuperación industrial.

Un análisis típico del agua a la salida de los separadores de los pozos de la siguiente composición:  $H_2O$  97.31014%,  $NaCl$  2.0620%,  $KCl$  0.0142%,  $CaCl_2$  0.1230%,  $MgCl_2$  0.0083%,  $SiO_2$  0.0935%, otros 0.015%, de los productos anteriores presenta especial interés el cloruro de potasio, por lo que su obtención por evaporación solar de las salmueras de Cerro Prieto vendrían a ser la única fuente de abastecimiento nacional.

Los problemas fundamentales que se presentan en la recuperación de éste producto a partir del: -

fluido geotérmico del Campo Cerro Prieto, B.C. son; por un lado la concentración inicial de ésta solución hasta obtener una salmuera concentrada de donde se pueda procesar y separar los diversos componentes.

Estudios realizados en Nueva Zelanda, demuestran que la concentración inicial no se pueden realizar económicamente por los medios convencionales (evaporación por vapor, intercambio iónico, - electrodiálisis, etc.), sin embargo por las condiciones climatológicas de Cerro Prieto ésta concentración inicial se presenta económica utilizando para ello la evaporación solar. La realización de este tipo de proceso se puede ver en México, en el caso de Sosa Texcoco que concentra sus salmueras por éste método, en Estados Unidos, Utah, Nevada y California donde se obtienen muy diversas sales.

#### 1.4.- Zonas Geotérmicas.

Las zonas geotérmicas consisten en manifestaciones superficiales como son: manantiales termales, geysers, fumarolas, pozos de lodo hirviente, etc.

En el país existen un gran número de estas manifestaciones, haciendo mención de los Estados en que se encuentran los más importantes podemos señalar Baja California, Jalisco, Michoacán, por otro lado el Eje Neovolcánico de México, siendo en Baja California donde se encuentran los de mayor importancia como se puede ver más adelante.

Se llegó a esta conclusión después de realizar una evaluación preliminar tomando como base úni

camente el conocimiento de las zonas geotérmicas. A continuación se presenta una evaluación de Cerro - Prieto y Tulicheck en Baja California, Zonas en el estado de Jalisco y Los Azufres en Michoacán.



Fig. 2 EVALUACION PRELIMINAR DE RESERVORIOS GEOTERMICOS CON BASE EN GEOTERMOMETROS DE SiO<sub>2</sub> y NaKCa

NOMBRE	LOCALIZACION		TEMPERATURA °C				RESERVORIO SUPUESTO				CAPACIDAD	
	LAT.	LONG	Super- ficial	Geotermo- química		Sub- suelo	Area Km <sup>2</sup>	Espe- sor Km	Volu- men Km <sup>3</sup>	Conte. Calor. 10 <sup>18</sup> cal.	MW <sub>e</sub> S	MW <sub>e</sub> 30 A
	N	W		SiO <sub>2</sub>	NaKCa							
<b>Baja Calif.</b>												
Cerro Prieto A*	32°25'	115°16'	100	225	278	278	38.5	1.5	57.7	9.1	362	1 206
Cerro Prieto B**	32°25'	115°16'				343	50	2	100	19.7	784	2 610
Tulichek	32°30'	115°29'	100	135	283	283	7	1.5	10.5	1.7	44	147
											828	2 757
<b>Jalisco</b>												
La Primavera	20°40'	103°35'	69	170	173	173	7.5	1.5	11.2	1.06	28	93
La Soledad	20°52'	103°25'	100	153	201	201	4.6	1.5	7.0	0.78	25	86
San Marcos	20°18'	103°30'	96	183	211	211	11.2	1.5	16.8	1.98	65	218
Acatlán	20°25'	103°35'	36	127	166	166	10.5	1.5	15.7	1.42	37	125
Los Pozos	20°24'	103°35'	34	112	170	170	9.0	1.5	13.5	1.26	33	111
Hervores de la Vega	20°36'	103°55'	98	154	186	186	2.0	1.5	3.0	0.30	7	25
Agua Caliente	20°32'	103°48'	40	131	191	191	2.5	1.5	3.7	0.39	10	34
Villa Corona	20°24'	103°40'	40	133	203	203	10.3	1.5	15.4	0.17	5	16
San Isidro Mazatepec	20°32'	103°38'	35	143	171	171	4.8	1.5	7.2	0.67	17	59
Mazatepec	20°34'	103°34'	68	157	159	159	1.5	1.5	2.2	0.19	5	16
Cosalá	20°17'	103°18'	94	149	194	194	2.6	1.5	3.9	0.42	11	37
Jocotpec	20°16'	103°26'	50	144	196	196	3.8	1.5	5.6	0.61	16	53
Colimilla	20°40'	103°15'	48	130	174	174	2.0	1.5	3.0	0.29	7	25
Cacaluta	20°04'	103°30'	33	108	212	212	17.6	1.5	26.4	3.12	103	344
Los Camachos	20°46'	103°25'	32	131	214	214	1.5	1.5	2.2	0.26	8	28
											377	1 273

(1) Max. Temp. encontrada superficialmente. Manantial o fumarola

(2) Temp. Calculada con base en geotermómetros químicos.

(3) Temp. probable con base en los datos existentes

(4) Area estimada de alteración: 1.5 Km<sup>2</sup> en manifestaciones aisladas

(5) Techo supuesto a 1.5 Km de prof. (si no hay datos). Fondo supuesto a 3Km. para sistema de convección.

(6) Calculado del área y espesor supuestos.

(7) Calculado como prod. del vol. supuesto, calor específico volumétrico de 0.6 Cal/Cm<sup>3</sup>°C y Temp. en °C arriba de 15°C. (Contenido calorífico: Cifras de la columna 7 x 10<sup>18</sup> calorías)

(8) MW/Elec. Siglo. (9) MWElec. a 30 años.

\* Cerro Prieto A.- Evaluación tomando como base las manifestaciones superficiales con área de 38.5Km<sup>2</sup> y espesor de 1.5 Km.

\*\* Cerro Prieto B.- Evaluación tomando datos conocidos de los pozos perforados; características máximas (pozo M-53): Temp. de 343°C; área de 50 Km<sup>2</sup> y espesor de 2 Km.

**Fig. 2. EVALUACION PRELIMINAR DEL RESERVOIRIO GEOTERMICO DE LOS AZUFRES, MICH.**

( Se tomó como base el método empleado en "Assesment Of Geothermal - Resources of the United States" - 1975, para evaluar Los Geysers - y otros campos con predominio de vapor ).

NOMBRE	LOCALIZACION		Super ficial	Geotermo- química		Sub- suelo	Area Km <sup>2</sup>	Espe sor	Volu men	Cont. Calor 10 <sup>18</sup> cal.	MW <sub>e</sub> S (8)	MW <sub>e</sub> 30 A (9)
	LAT. N	LONG W		SiO <sub>2</sub> (2)	NaKca (2)							
Los Azufres, Mich.	19°47'	100°37'	115	No aplicable		~240	35.7	1.5	53	7.22	182	606

- (1) Max. Temp. encontrada superficialmente. Manantial o escape de vapor
- (2) Temp. calculada con base en geotermómetros químicos.
- (3) Temp. probable con base en los datos existentes.
- (4) Area estimada de alteración: 1.5 Km<sup>2</sup> en manifestaciones aisladas
- (5) Techo supuesto a 1.5 Km. de prof. Fondo supuesto a 3 Km. para sistemas de convección.
- (6) Calculado del área y espesor supuestos.
- (7) Calculado como producto del volumen supuesto, calor específico volumétrico de 0.6 Cal/Cm<sup>3</sup>°C y temp. en °C arriba de 15°C (Contenido calorífico: Cifas de la columna 7x10<sup>18</sup> calorías)
- (8) MW/Elec. Siglo
- (9) MW/Elec. a 30 años

## II.- GENERALIDADES.

## II.1.- SALES DE POTASIO EN MEXICO Y SUS USOS.

Las sales de potasio se encuentran en estado sólido o en solución prácticamente en todo el mundo, ya que por orden de importancia el potasio ocupa el séptimo lugar de los constituyentes de la tierra, pero es contable la obtención industrial de sus sales, en lugares limitados en que la composición sea la adecuada.

En estado sólido los depósitos más comunes de potasio son:

MINERAL	FORMULA	COLOR	PROPORCION
Silvinita	$KCl-NaCl$	crystalino	diferente
Carnalita	$KCl.MgCl_2.6H_2O$	blanco, amarillo o azul.	diferente
Kainita	$KCl.MgSO_4.3H_2O$	-	-
Langbeinita	$K_2SO_4.2MgSO_4$	-	-
Alunita	$K_2SO_4.A1_2(SO_4)_3$	-	-
Schanita	$K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O$	-	-
Glacerita	$K_2Na(SO_4)_2$	-	-

Estos minerales pocas veces se encuentran en estado puro y por eso el contenido de potasio es variable, con base en ello se han hecho una clasificación general.

- a).- Minerales que tienen un contenido de óxido de potasio entre 15% y 30% se llaman silvinitas.
- b).- Minerales que tienen un contenido de -

óxido de potasio entre 30% y 60% se llaman silvinas.

No es recomendable a la fecha industrializar minerales con menos de 15% de óxido de potasio cuando el producto principal es una sal potásica, pero puede ser arrovechable como un subproducto de otra fabricación con ventaja.

En estado de sales disueltas los depósitos más importantes son:

El mar.

Lagos salados.

En los diversos lugares en que se encuentran los minerales de potasio se han usado distintos métodos para su explotación, de acuerdo con la profundidad a que se localizan y a la concentración de óxido de potasio que tienen.

Para México se propone lo siguiente.

- 1.- Continuar las exploraciones de los domos salinos de Cuchillo Parado, Chihuahua, usando equipo rotatorio a profundidades mayores que las ya efectuadas, perforando pozos en direcciones y bajo una planeación previa para determinar el volumen de las sales potásicas, la composición de éstas es principalmente carnalita y silvinita.

Si el volumen del mineral así explotado es el adecuado, pues se estima incosteable industrializar depósitos menores a 15 millones de toneladas con contenido menor de 10% de óxido de potasio, enton-

ces se puede pensar en efectuar los pasos de extracción y beneficio de acuerdo con las características de los depósitos obtenidos.

La extracción puede efectuarse por el método directo de minas semejantes al carbón o por el método de de disolución semejante al flash.

El beneficio puede efectuarse por disolución y cristalización o flotación.

- 2.- Explotar los domos de Tancamichapan para determinar si las reservas son las adecuadas para su explotación, ya que el lugar en que se localizan tiene grandes ventajas que no tienen otros lugares en el mundo, por la cercanía de vías de comunicación terrestre y marina, además de que cerca de estos domos salinos se han encontrado otros llamados De la Soledad, que indican presencia de sales de potasio, silvinita y carnalita con un contenido de óxido de potasio hasta de 25%.

La extracción y beneficio se seleccionará cuando se tenga una evaluación real de los depósitos.

- 3.- Estudiar la posibilidad de aprovechar el cloruro de potasio de las aguas del Lago de Texcoco y de Cuitzeo, en procesos semejantes al llamado "Trona" que se emplea en la industrialización de las aguas del lago salado en E.U.A.
- 4.- Obtener sales de potasio como un subpro-

ducto de otras fabricaciones, en este - sentido se está trabajando en varios aspectos.

a).- Química del mar.- En Tamaulipas se elabora óxido de magnesio procesando el agua de mar con dolomita calcinada, con la parte que contiene hidróxido de magnesio al calcinarlo se produce óxido de magnesio grado-refractorio, como subproducto se fabrica carbonato y bicarbonato de potasio.

b).- El proyecto más importante a la fecha que podrá evitar la importación total de sulfato de potasio, es el que tiene Guanos y Fertilizantes, - utilizando la tecnología que ha desarrollado el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad de Guanajuato, que consiste - en la obtención del óxido de aluminio a partir de las alunitas teniendo como subproducto el sulfato de - potasio y el sulfato de amonio.

5.- Yacimientos de alunita.- En los estados de Guanajuato, Chihuahua, Aguascalientes, Durango, Morelos, Puebla, Michoacán e Hidalgo, se han reportado yacimientos de alunitas. En Guanajuato se distinguen dos zonas, la de Neutle y la de Romero, - de donde los últimos estudios llegan a - cubrir positivamente 32 millones de toneladas aproximadamente con ley promedio -

de 22.5% de alunita. En Durango se estudiaron cinco áreas con resultado de - - 1,141,200 toneladas de roca con mas de - 50% de alunita.

Los yacimientos de alunita en México tienen contenido de óxido de potasio de 2% a 8%.

- 6.- Recuperar el cloruro de potasio a partir de fluido geotérmico.- En especial los de Cerro Prieto en Baja California, en donde el contenido de sales de potasio en estos fluidos es de 3700 p.p.m. siendo superior que en el agua de mar.

## 11.2.- CONSUMO.

Las sales de potasio son usadas ampliamente en la industria, agricultura y otras actividades importantes. En las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 se puede apreciar estos aspectos tomando en cuenta, consumo aparente, importe del consumo aparente, precio unitario e importación en el país.

Entre los usos industriales se pueden mencionar los siguientes:

- a).- Industria de vidrio.- El fluosilicato sirve para la elaboración de un tipo de vidrio opaco, el carbonato para la fabricación de vidrios resistentes al calor, el nitrato, sulfato y silicato son ampliamente usados en la fabricación de diversas clases de vidrio.



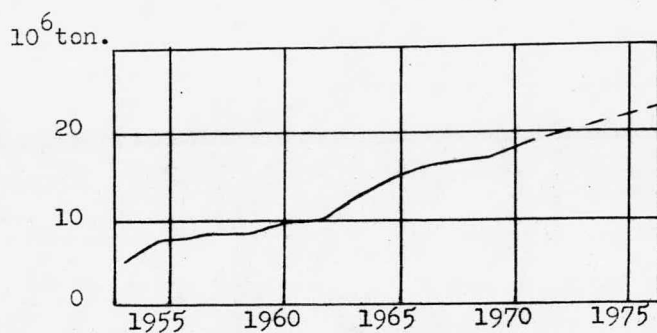


Fig.3. Producción mundial de sales de potasio.

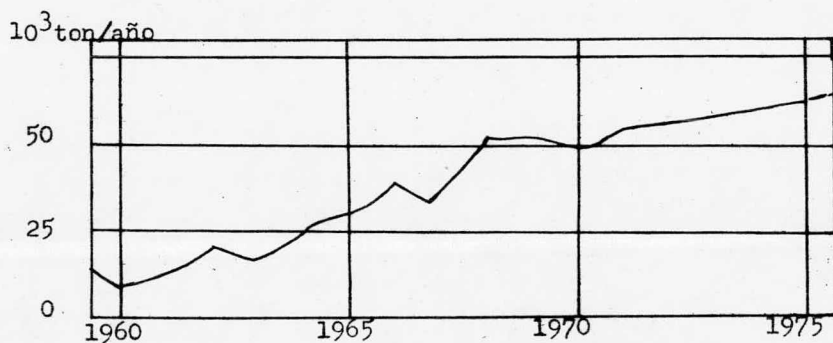


Fig.4. Consumo aparente de cloruro de potasio.

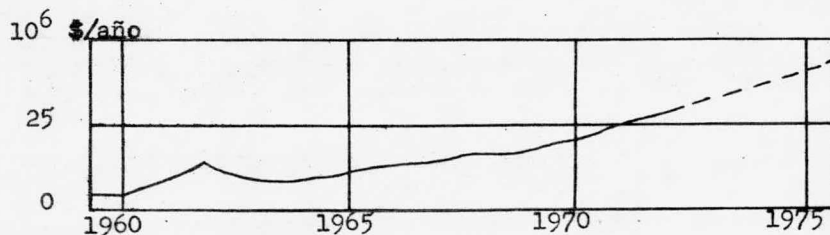


Fig.5. Importe del consumo aparente de cloruro de potasio ( México ).

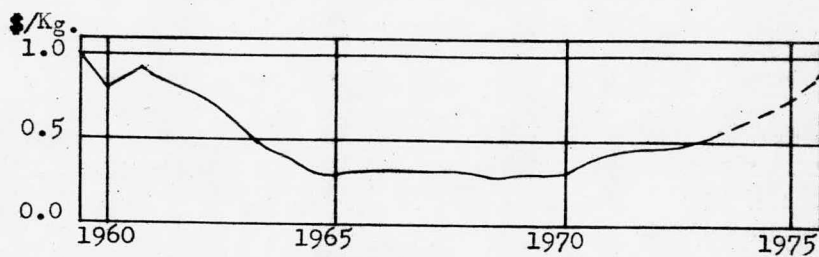


Fig.6. Precio unitario del cloruro de potasio en México.

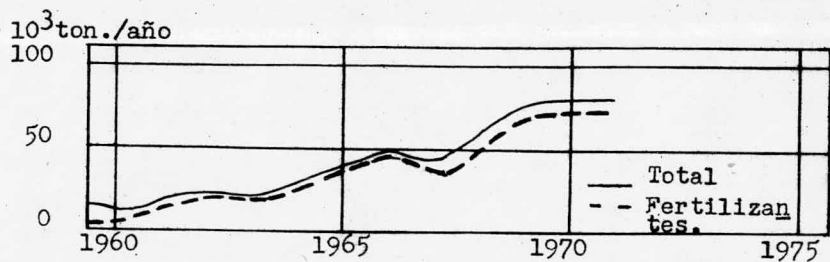


Fig.7. Importación de potasio y derivados. ( México ).

- b).- Industria de colorantes.- Para el teñido de textiles se emplea el estanato, permanganato, ferrocianuro, sulfito y clorato. Con el cromato y dicromato se elaboran pigmentos y tinturas amarillas.
- c).- Industria farmacéutica.- Dentro de esta industria tienen gran uso los cloratos, fosfatos, hiposfosfito, cianuro, bromuro, ferrocianuro, tartrato, sulfato, sulfuro y glicerofosfato de potasio.
- d).- Industria de explosivos y pirotécnica.-- El clorato nitrato, hidróxido y perclorato se usan en la fabricación de cerillos, cohetes y explosivos.
- e).- Industria alimentaria.- En esta industria los derivados de potasio tienen una gran aplicación, distinguiéndose principalmente el bicarbonato birtartrato que se usan en la formación de polvos de hornear, también se usan como preservativos este es el caso del tartrato, nitrato y sulfato. El permanganato se emplea en la fabricación de sacarina y el yoduro se considera como complemento alimenticio.
- f).- Industrias varias.- El yoduro, bromuro y cianuro se emplean en fotografía, además el cianuro y ferrocianuro tienen aplicación en el tratamiento de acero, el hidróxido se usa en la fabricación de jabones suaves.

La enumeración de usos se puede continuar - - pues son muchos y muy variados, sin embargo el uso principal de las sales de potasio se encuentra en - la agricultura, en donde el cianuro y el fluosilicia to se usa como pesticidas; en la elaboración de fer tilizantes se utiliza una mezcla de cloruro y sulfa to, con lo que se obtiene lo que se conoce como fer tilizantes simples, si además se adiciona fosfato - se obtiene fertilizantes complejos, el nitrato se - usa en la elaboración de fertilizantes foliares.

Las plantas consumen el potasio de las sales solubles, dandoles vigor, salud e incrementa notablemente su desarrollo este elemento junto con el - nitrógeno y el fósforo constituyen los tres principales elementos de los fertilizantes. Ver en la figura 8.

### 11.3.- DESARROLLO DE UNA ZONA GEOTERMICA.

Exploración preliminar.- La etapa inicial de investigación y detección de una zona geotérmica - - consiste en la búsqueda de manifestaciones superficiales como son; manantiales termales, geysers, fumarolas, pozos de lodo hirviente, etc. De acuerdo - con la magnitud de estas manifestaciones, las zonas pueden presentar grandes posibilidades de explotación, por lo que se continúa con una etapa de trabajos geológicos, geofísicos y geoquímicos.

Los trabajos geológicos incluyen desde la - geología superficial hasta la aerofotografía para - poder obtener mapas morfológicos, geotectónicos, - etc., que sirven de base para detectar las zonas - fracturadas o que presentan alteraciones importantes de origen hidrotermal.

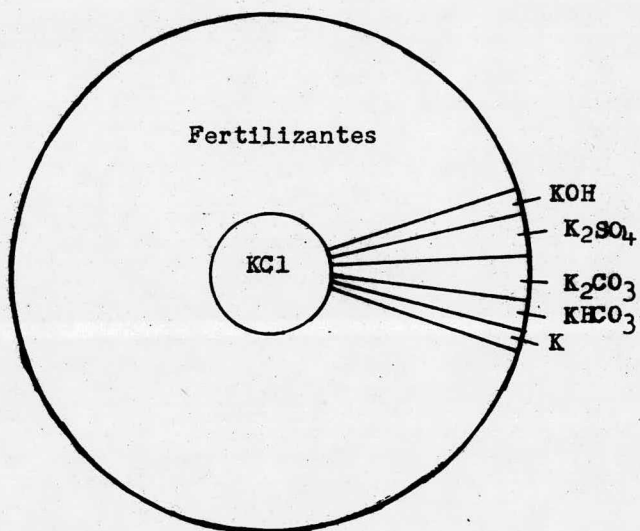


Fig.8. Principales usos del cloruro de potasio.

Los estudios geofísicos cubren informes gravimétricos, magnetométricos, termométricos, sísmicos y de resistividad, con objeto de poder determinar la estructura de la zona y las posibles localizaciones con anomalías térmicas y confinamiento de agua subterránea. Como se ilustra en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13.

Los estudios geoquímicos abarcan el muestreo de agua y gases de las manifestaciones superficiales y su posterior análisis para poder correlacionar la composición química de las mismas, con la posibilidad de explotación geotérmica de la zona.

#### 11.4.- LOCALIZACION GEOGRAFICA DE LAS FUENTES GEOTERMICAS EN LA REPUBLICA MEXICANA.

Por su suelo eminentemente volcánico, en el país se conocen más de 120 zonas las cuales pueden obtenerse vapor generado bajo la superficie. En algunas de ellas se han realizado estudios muy amplios incluyendo la perforación de pozos tales como: Los Negritos, Ixtlán de los Hervores, Los Azufres cerca de la ciudad de Hidalgo, todos ellos en Michoacán; en el estado de Jalisco se encuentran los campos de La primavera, La Colorada y San Marcos; en el estado de Baja California se encuentran Cerro Prieto, Laguna Salada (W), Laguna Salada (E), La Puerta, entre otras.

La localización de todas estas fuentes térmicas en la República Mexicana se aprecia ampliamente en la figura 14, donde se enumeran de acuerdo al orden de importancia geotérmica.

Entre los estudios realizados en varios cam-



Fig.9. La magnetometría mide las alteraciones - del campo magnético de la tierra, relacionan -  
dolas con la estructura del subsuelo.

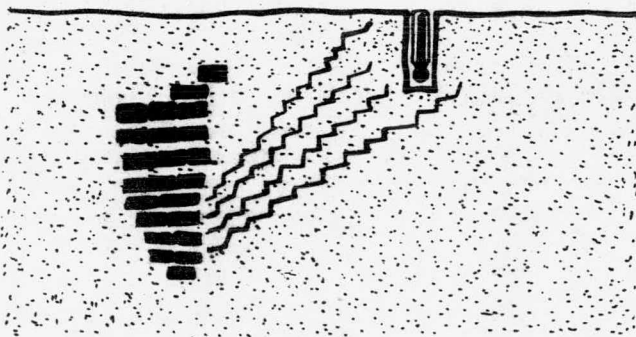


Fig.10. Los estudios del flujo térmico propor -  
cionan datos para la obtención de perfiles de  
gradiente geotérmico.

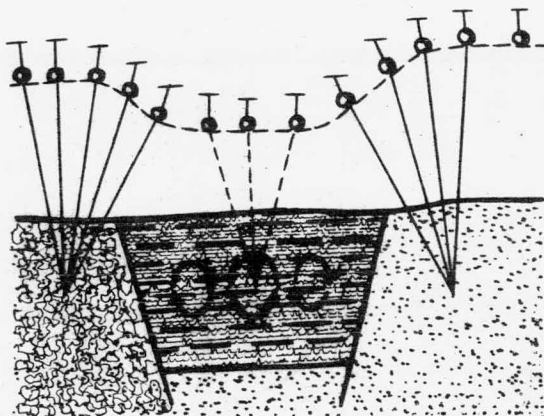


Fig.11. La gravimetría se utiliza para detectar variaciones en la densidad promedio del subsuelo.

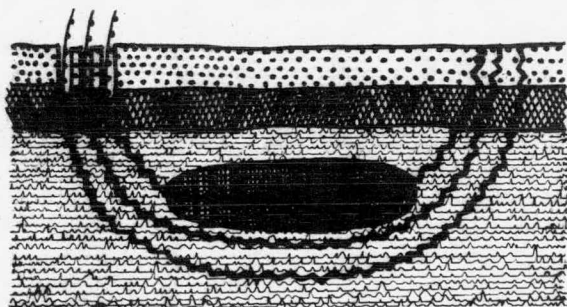


Fig.12. Las medidas de resistividad del yacimiento, ayudan a la detección de las diversas capas de materiales así como a la posible identificación de su naturaleza.



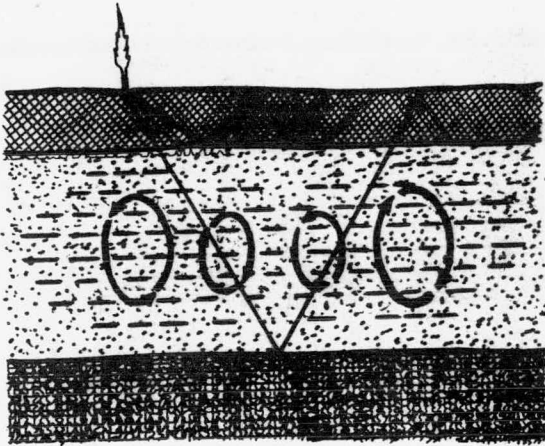


Fig.13. Los estudios sísmicos sirven para la determinación de la estructura del subsuelo - por la reflexión o transmisión de las ondas - mecánicas.



FIG. 14

- |                        |                            |                     |                   |                      |                             |
|------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1. Cerro Prieto        | 19. La Libertad            | 37. El Tufanito     | 55. El Platanar   | 73. Río Salado       | 91. Agua Blanca             |
| 2. Laguna Salada (N)   | 20. Guaymas                | 38. Los Baños       | 56. Jerroche      | 74. Ameca            | 92. Gogorrón                |
| 3. Laguna Salada (E)   | 21. Culiacán               | 39. Ojo Caliente    | 57. Cintalco      | 75. Agua Caliente    | 93. Agua Caliente           |
| 4. Pátula              | 22. Tepic Chico            | 40. Caldera         | 58. San Agustín   | 76. Casas Grandes    | 94. Ojo Caliente            |
| 5. La Puente           | 23. Le Paz                 | 41. San Pecosquero  | 59. Agua Caliente | 77. Agua Caliente    | 95. Baños San Marcos        |
| 6. Agua Caliente       | 24. Altata                 | 42. Rancho Colorado | 60. San Andrés    | 78. Agua Caliente    | 96. Vito                    |
| 7. El Exeré            | 25. Mazatlán               | 43. San Bartolo     | 61. Los Azufres   | 79. Durango          | 97. Atotonilco              |
| 8. Zilitroca           | 26. Aquamiñoa              | 44. Durésgaro       | 62. Peñón Baños   | 80. Agua Caliente    | 98. Agua Caliente           |
| 9. Punta Peñascon      | 27. Agua Caliente          | 45. Tequisquiapan   | 63. Tlacomulco    | 81. Agua Caliente    | 99. Agua Caliente           |
| 10. Sta. María         | 28. La Soledad             | 46. Pathe           | 64. Agua Azul     | 82. Churumuco        | 100. Mina Sta. M. de la Paz |
| 11. Alitaga            | 29. Santa Rosa             | 47. Pathectio       | 65. Libres        | 83. Primavera        | 101. Ojo Caliente           |
| 12. Cd. Chihuahua      | 30. Aguascalientes         | 48. Tonaltepec      | 66. Zirándaro     | 84. Atotonilco       | 102. Ojo Caliente S. Rosa   |
| 13. Divisadero (Norte) | 31. León                   | 49. Tepicango       | 67. Ixtapan       | 85. Tashiro          | 103. Agua Caliente          |
| 14. Divisadero (Sur)   | 32. Comanjilla             | 50. Mina Parícutin  | 68. Los Baños     | 86. Agua Caliente    | 104. Hervideros Mungo       |
| 15. Sahuaripa          | 33. Ojo Caliente           | 51. Calinoli        | 69. Tapachula     | 87. Atotonilco El G. | 105. La Misión              |
| 16. Guerrero Negro     | 34. Ojales de los Hervores | 52. Cd. Guzmán      | 70. Zontecomapan  | 88. Agua Caliente    | 106. Taniul                 |
| 17. Sta. Gertrudis     | 35. Agua Caliente          | 53. Agua Caliente   | 71. Atotonilco    | 89. Las Tinajas      | 107. La Mina                |
| 18. Faja de San Luis   | 36. Agua Caliente          | 54. Río Papagayo    | 72. Soto Marina   | 90. Los Borbollones  | 108. El Volcán              |

TESIS DE IRMA A. MIRELES L.

FOCOS TERMALES  
DE LA  
REPUBLICA MEXICANA

FACULTAD DE QUIMICA .

GEN. 1970-1974 U.N.A.M.

pos termales se encuentran los mencionados en la exploración preliminar, siendo el campo Cerro Prieto - el lugar donde se ha logrado realizar los más completos estudios, incluyendo la perforación de pozos y obtenerse energía geotérmica.

### 11.5.- CAMPO GEOTERMICO CERRO PRIETO.

Localización.- El campo geotérmico de Cerro-Prieto, B.C. se encuentra localizado aproximadamente a 30 Km. al sur de Mexicali, capital del estado de Baja California, entre los  $114^{\circ} 50'$  y  $115^{\circ} 48'$  - de longitud oeste y entre  $31^{\circ} 55'$  y  $32^{\circ} 44'$  de latitud norte.

La zona, de carácter desértico, consiste en una planicie en el delta del Rio Colorado destacando la prominencia de Cerro Prieto.

La planicie es llana sub-redondeada con declives hacia el mar; el poniente está limitada por la sierra de los Cucapá continuando al noroeste con el cerro del Centinela y al sur con las sierras de El Mayor y de Los Pinitos.

La región se encuentra comunicada con la ciudad de Mexicali, por el ferrocarril Sonora-Baja California y la carretera estatal Pascualitos Pescaderos que interconecta con la carretera Mexicali-San Luis Rio Colorado.

Geología.- Como resultado de los estudios de investigación geológica y de las observaciones realizadas en los núcleos obtenidos durante la perforación de los pozos profundos se encuentra la estructura geológica del campo.

En el caso del Campo de Cerro Prieto, a una profundidad de aproximadamente 2500 m. se encontró el basamento granítico que, quizás, se encuentra al tamente fracturado ya que, tectónicamente, la zona esta relacionada con el sistema de fallas de San An dres, que se prolonga hacia los Estados Unidos, siendo visibles cuatro fallas principales, que se encuentran cruzadas por varias secundarias y cubiert as por los aluviones deltáicos procedentes del Rio Colorado.

Yacente en el basamento, y hasta una profundidad de aproximadamente 700 m. se encuentran capas alternadas de areniscas y lutitas, estando las areniscas saturadas de agua sobrecalentada debido a la transmisión de calor por flujo de gases y vapores a alta temperatura a través de la roca basal fractura da.

Por último, sirviendo de sello al yacimiento, se tiene un espesor de 700 m. de arcillas plásticas impermeables que mantienen atrapada al agua caliente, impidiendo el escape del calor a la super ficie.

Desde el punto de vista vulcanológico, la zo na presenta trazas de su actividad en el cono apaga do de Cerro Prieto y en la multitud de manifestacion es superficiales de la laguna Vulcano.

## 11.6.- LA ENERGIA GEOTERMICA EN CERRO PRIETO, MEXICALI, B.C.

La iniciación de las exploraciones efectuadas en este campo, con miras a utilizar el vapor en dógeno para la generación de energía eléctrica se -

remonta al año de 1959. En 1961, se iniciaron las perforaciones en la zona de Cerro Prieto, Mexicali, B.C., habiéndose obtenido vapor en el pozo No. 1-A el 13 de julio de 1961. Posteriormente se perforaron los pozos No. 2 y 2-A cerca del volcán de Cerro Prieto, porque se pensaba que la producción de vapor estaba íntimamente relacionada con el vulcanismo reciente; tanto en el pozo No. 1 como en el pozo No. 2 se tuvieron problemas de derrumbe en la perforación, por lo que tuvieron que abandonarse. En sustitución del No. 1 se perforó el 1-A el cual por estar a una profundidad alrededor de 500 m. no llegó a atravesar la capa de arcilla y sin embargo produjo vapor húmedo, que por el elevado contenido de sales de calcio se incrustó rápidamente.

La profundidad media de los pozos en Cerro Prieto es de 1300 m. No obstante, el pozo M-3 se perforó hasta una profundidad de 2635 m. encontrando el basamento a 2540 m. Después de analizar los registros eléctricos y de temperatura, se taponeó la porción inferior y se perforó el ademe de 600 m. a 900 m. de profundidad, mediante disparos. Actualmente el pozo produce una mezcla de agua y vapor de alta entalpía.

Las técnicas empleadas para la perforación para la extracción de vapor son muy similares a las utilizadas en la perforación del petróleo. Los equipos de perforación, son los mismos y el único equipo adicional, es una torre de enfriamiento, que se usa para reducir la temperatura de los lodos de perforación en alrededor de 20°C. Esto es necesario, debido que el lodo alcanza temperaturas de ebullición cuando entra en contacto con el agua caliente o con formaciones calientes en la profundidad.

Los pozos perforados para la extracción de vapor, están distribuidos en la forma triangular con objeto de mantener una distancia igual entre ellos, la que es de 200 m. Esta distribución fué escogida al azar, sin que hasta la fecha se hayan establecido una distancia crítica. No se ha observado ninguna interacción entre los pozos con éste intervalo. Como consecuencia el área bajo explotación es muy reducida. Los estratos productores se encuentran comprendidos de los 800 m. a los 2000 m. de profundidad. A la fecha en el campo geotérmico de Cerro Prieto se han perforado 35 pozos productores de los cuales 13 están en operación suministrando vapor para la planta Geotermoeléctrica que con capacidad de 75000 Kw. construyó la Comisión Federal de Electricidad y que consta de dos unidades de 37500-Kw. c/u, la primera de las cuales entró en operación el 4 de abril de 1973 y la segunda el 1° de septiembre del mismo año.

El fluido producido por los pozos, se envía a un separador ciclónico, instalado en la plataforma de cada pozo, obteniéndose de este fluido aproximadamente un 25% de vapor, el cual se envía a los cabezales, instalados en las proximidades de la planta, en donde se hacen pasar a través de separadores ciclónicos, uno por cada unidad para eliminar el condensado que pudiese haberse formado durante su transporte. De este separador se conduce a la turbina, cuya presión de trabajo es de 5.3 kg./cm.<sup>2</sup> ( 75 lb/in<sup>2</sup> ). Este vapor después de pasar por la turbina, se condensa mediante el agua de enfriamiento, mezclándose con ésta, constituyendo el repuesto de agua al sistema por lo que es necesario contar con una fuente de aprovechamiento de agua para refrigeración.

Por otra parte el agua que sale de los separadores y que constituye aproximadamente el 75% del fluido producido por un pozo, se envía mediante turbinas a una laguna de evaporación.

Anteriormente esta agua se descargaba a silenciadores, en donde se ponía a la presión atmosférica y se pretendía conducirla mediante canales a drenes para ser desechada, lo que requería un mantenimiento muy elevado, para conservar dichos canales en operación, por lo que se optó por el desecho del agua mediante turbinas, aprovechando su propia energía y sin producir incrustaciones. Esto es una contribución netamente mexicana, para la tecnología del aprovechamiento de la energía geotérmica.

El agua separada contiene una gran cantidad de sustancias químicas las que pueden procesarse industrialmente, principalmente las sales de potasio para producir fertilizantes y el azufre de los gases, para producir pesticidas, ácido sulfúrico y sus derivados. Las sales de litio también son un producto potencial.

Se cree que esta agua almacenada a profundidades de aproximadamente 1300 m. en estratos porosos, es calentada por gases calientes que originándose en el magma fluyen hacia arriba a través de fallas.

Esta teoría parcialmente soportada por correlaciones geoquímicas. Ha sido posible corroborar que la relación sodio/potasio, varía inversamente con la temperatura del fluido producido. Entre más lejos se encuentre el pozo de la zona principal de producción, mas baja es su temperatura y mas alta la relación sodio/potasio. Esto se debe a la absor-

ción de potasio en el terreno a medida que el agua fluye en el subsuelo.

En vista del alto contenido de sales del - - agua separada y con el objeto de evitar la contaminación de los ríos y terrenos aldeños, fue necesario construir una laguna de evaporación, aprovechando el alto régimen de evaporación existente en Mexicali y que llega a ser de 2.5 m. por año, esta laguna tiene una extensión de 16 Km.<sup>2</sup>

Los planes futuros prevén que después de haberse recuperado las sales de potasio procesando - las salmueras de la laguna que contiene un alto índice de sales, se prevé el envío por canales del - agua residual a la Laguna Salada (lago seco aproximadamente a 20 Km. al oeste). La reinyección de esta agua en los abanicos aluviales de la Sierra Cucapá, es otra posibilidad.



III.- DESARROLLO  
DEL PROCESO .

### III.- ESTUDIO EXPERIMENTAL.

#### III.1.- INTRODUCCION.

El estudio experimental se basa primordialmente en la recuperación de las sales de cloruro de potasio por evaporación solar seguida de una cristalización y de una flotación.

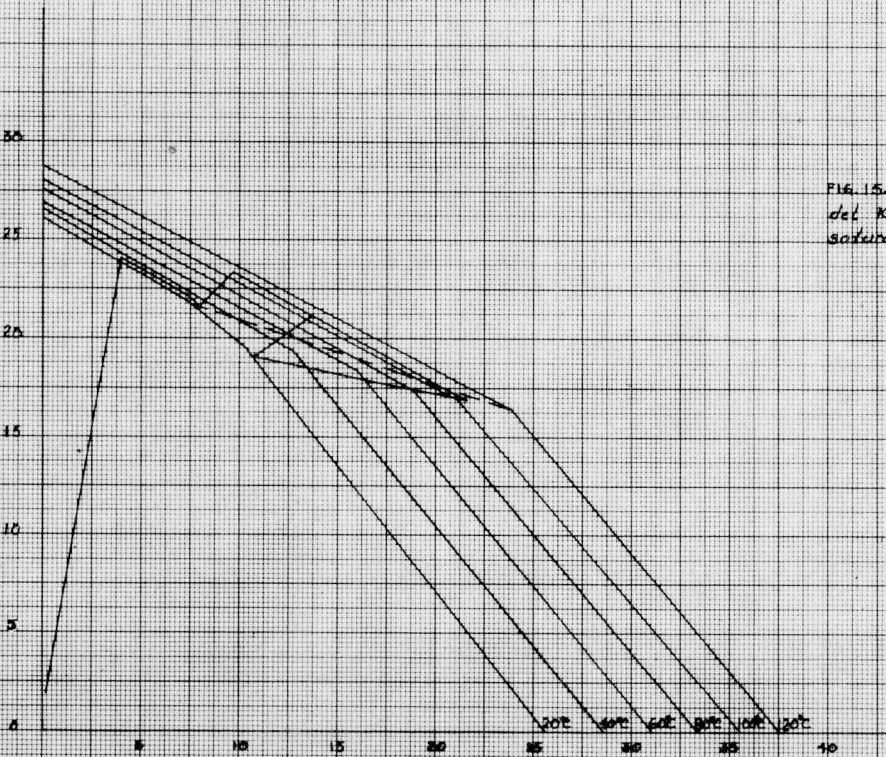
La recuperación de las sales de potasio es a partir de las salmueras de Cerro Prieto, con un alto contenido de sales de sodio y potasio principalmente.

Estas sales tienen un comportamiento de solubilidad bastante diferente, por lo que para separar el cloruro de potasio de las demás sales es aprovechando ésta propiedad, como se puede ver en el diagrama de solubilidad del sistema  $\text{NaClKCl-H}_2\text{O}$  % en peso en la solución saturada, figura 15, la curva muestra que la solubilidad del cloruro de potasio cambia rápidamente con la temperatura, mientras que el cloruro de sodio permanece prácticamente constante. La presencia de cantidades pequeñas de otras impurezas en el sistema anterior si tienen un apreciable efecto fundamental en la curva.

#### III.2.- EVAPORACION SOLAR.

Aprovechando las condiciones climatológicas que se tiene en la zona donde se encuentra localizada la planta geotermoeléctrica de Cerro Prieto, donde hay una gran incidencia de rayos solares y llueve poco, se llevó un control de concentración de la salmuera obtenida de los pozos por evaporación so--

NaCl Saturabilidad % en peso en la solución saturada



KCl Saturabilidad % en peso en la solución saturada

FIG. 15. Saturabilidad del KCl en solución saturada de NaCl.

lar obteniéndose los siguientes resultados; las concentraciones de los elementos y compuestos de sodio, potasio, calcio, cloruro de sodio, cloruro de potasio y cloruro de calcio se expresan en p.p.m. como se muestra en la figura 16, 16A.

Estos datos fueron comparados con otros existentes en el laboratorio, llegando a la conclusión, que debido a la presencia del cloruro de calcio el cual es sumamente higroscópico además de la existencia de el cloruro de litio y magnesio, todos estos como impurezas, la solubilidad % en peso del sistema  $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ , no sigue las condiciones que debería si estuviésemos como únicos componentes.

A partir de los datos que se aprecian en la figura 16, 16A, se obtuvieron los diagramas de solubilidad % en peso del sistema  $\text{NaCl}_1\text{-KCl-H}_2\text{O}$ , figura 17 y del sistema  $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ , figura 18.

### III.3.- CRISTALIZACION FRACCIONADA.

A partir de la concentración de la muestra 47, de los datos de la figura 16 y 16A, se pasó al método de cristalización fraccionada a nivel laboratorio.

Este método se basa en las siguientes propiedades:

Cuando dos o más solutos están presentes en una solución es a menudo posible cristalizar a uno de ellos y dejar el otro en solución.

Usualmente tales métodos de cristalización fraccionada están basadas en la diferentes solubilidades de los solutos.

FIG. 16

## CONTROL ANALITICO DE SALMUERA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO.

MUESTRA	FECHA	CL ppm	Na ppm	K ppm	NaCl ppm	KCl ppm	Na/K	TE	
5	11-IV-75	44 833	24 883	4115	63 203	7860	10.26	22	
6	14-IV-75	51 835	28 494	5219	72 325	9967	9.26	29	
7	17-IV-75	59 835	37 604	5978	95 513	11 418	10.69	15	
8	22-IV-75	82 239	40 083	7615	101810	14 544	8.94	25	
13	5-V-75	208 229	92 000	25 438	233 680	48 534	6.15	28	
14	7-V-75	210 231	92 000	26 588	233 680	50 783	5.88	22	
15	9-V-75	212 233	92 000	26 705	233 680	51 009	5.86	34	
16	12-V-75	215 237	92 000	27 370	233 680	52 277	5.71	44	
17	14-V-75	215 237	92 920	27 370	236 017	52 277	5.71	39	
18	16-V-75	215 237	92 730	29 863	235 534	57 038	5.29	35	
34	13-VI-75	214 491	105 844	33 304	268 844	63 278	5.38	26	
35	17-VI-75	212 475	101 446	36 842	257 673	67 000	4.67	26	
36	19-VI-75	214 491	99 111	93 975	246 662	178 553	1.75	18	
37	25-VI-75	212 233	99 750	37 208	248 285	70 695	4.45	18	
38	26-VI-75	214 235	95 984	40 257	243 799	76 488	4.04	-	

FIG. 16 CONTROL ANALITICO DE SALMUERA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO

MUESTRA	FECHA	Cl ppm	Na ppm	K ppm	NaCl ppm	KCl ppm	Na/K	T <sub>C</sub>	
39	30-VI-75	212 233	87 893	44 039	223 248	83 674	3.38	36	
40	4-VII-75	216 237	89 652	48 596	227 716	92 332	3.14	-	
41	7-VII-75	224 246	82 750	53 763	210 185	102 149	2.62	-	
42	9-VII-75	224 246	82 400	58 846	209 296	111 807	2.38	29	
43	11-VII-75	228 251	84 449	61 387	214 500	116 635	2.32	30	
44	14-VII-75	228 251	71 080	58 455	180 543	111 065	2.05	30	
45	16-VII-75	229 252	66 463	55 327	168 816	105 121	2.04	33	
46	18-VII-75	225 248	65 227	54 078	165 677	102 748	2.04	29	
47	21-VII-75	225 248	62 870	52 253	159 741	99 281	2.04	26	

FIG. 16 A CONTROL ANALITICO DE SALMUERA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO

MUESTRA	FECHA	CL ppm	Na ppm	Ca ppm	NaCl ppm	CaCl <sub>2</sub> ppm	Na / Ca	TE	
5	11-IV-75	44833	24883	2044	63203	5662	12.17	22	
6	14-IV-75	51835	28494	2461	72375	6819	11.58	29	
7	17-IV-75	59835	39604	2786	95513	2712	13.49	15	
8	22-IV-75	82239	40083	4058	101810	11241	9.82	25	
13	5-V-75	208229	92000	6212	233680	17209	14.81	28	
14	7-V-75	210231	92000	6212	233680	17209	14.81	22	
15	9-V-75	212233	92000	6413	233680	17764	14.34	34	
16	12-V-75	215239	92000	6413	233680	17764	14.34	44	
17	14-V-75	215239	92920	6613	236017	18318	14.05	39	
18	16-V-75	215239	92730	7014	235534	19429	13.22	35	
34	13-VI-75	214491	105844	15230	268844	42187	6.49	26	
35	17-VI-75	212475	101446	16353	257673	45298	6.20	26	
36	19-VI-75	214491	97111	18036	246662	49959	5.38	18	
37	25-VI-75	212233	92750	19158	248285	53068	5.10	18	
38	26-VI-75	214235	95984	19158	243799	53068	5.01	-	

FIG. 16A CONTROL ANALITICO DE SALMUERA GEOTERMICA DE CERRO PRIETO

MUESTRA	FECHA	Cl ppm	Na ppm	Ca ppm	NaCl ppm	CaCl <sub>2</sub> ppm	Na / Ca	T <sup>o</sup>	
39	30-VI-75	212233	87893	20040	223248	55511	4.38	36	
40	4-VI-75	216237	89652	22044	227716	61062	4.06	-	
41	7-VII-75	224246	82950	24369	210185	62502	3.39	-	
42	9-VIII-75	224246	82400	26292	209296	72829	3.13	29	
43	11-VII-75	228251	84449	36473	214500	101030	2.31	30	
44	14-VII-75	228251	71080	32705	180543	90593	2.17	30	
45	16-VII-75	229252	66463	35190	168816	99476	1.88	33	
46	18-VII-75	225249	65229	39078	165677	108246	1.66	29	
47	21-VIII-75	225248	62890	42284	159744	117127	1.48	26	



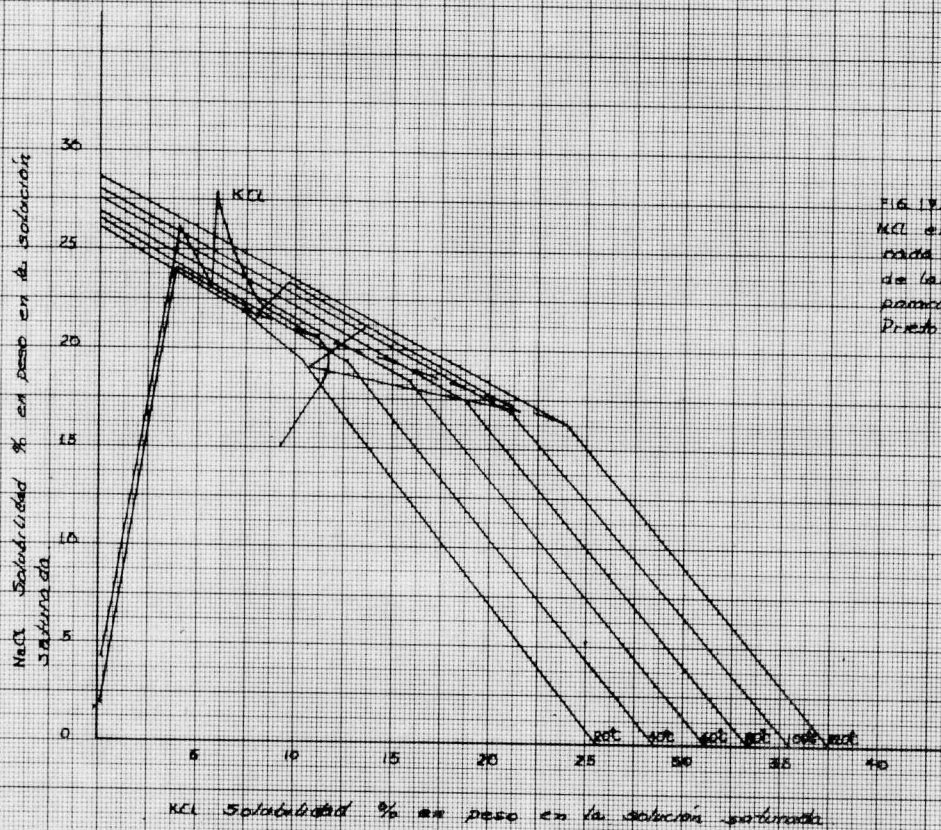


FIG. 19. Solubilidad del KCl en solución saturada de NaCl en agua de la laguna de agua salada, en Cerro Prieto, B.C.

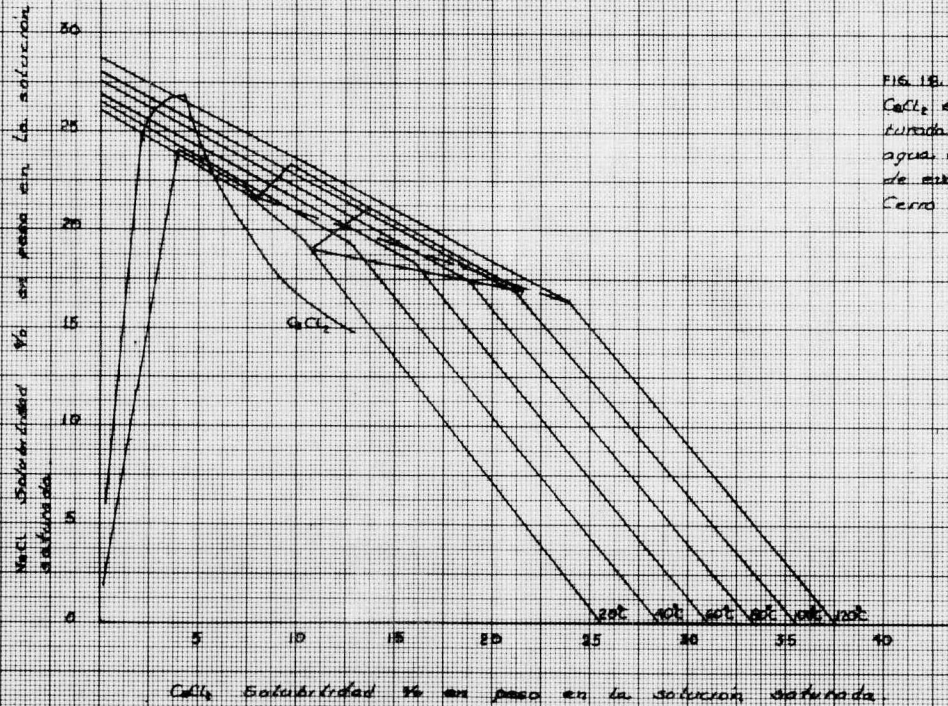


FIG. 18. Solubilidad del  $\text{CaCl}_2$  en solución saturada de  $\text{NaCl}$  en agua de la laguna de evaporación, en Cerro Prieto, B.C.

La solubilidad de un material en una solución de otro soluto es en general muy diferente de su solubilidad en el solvente puro, este efecto es más pronunciado cuando existe un ion común.

Como ejemplo tenemos la solubilidad de el cloruro de sodio en agua a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  es de 39.8 g, NaCl / 100 ml.  $\text{H}_2\text{O}$ , no así la del cloruro de potasio que es de 57.6<sup>2</sup>g. KCl / 100 ml.  $\text{H}_2\text{O}$ ; en la figura 19 y 20, se puede ver claramente éste fenómeno físico.

Basandonos en las propiedades del método, se continuaron las pruebas que se venían realizando anteriormente es decir aumentar la concentración de las sales de las salmueras de Cerro Prieto por evaporación solar hasta la muestra 47. De aquí en adelante se siguieron los pasos que se mencionan a continuación, tratando de semejar una cristalización fraccionada a nivel de laboratorio.

- 1.- Se elevó la solución saturada a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  manteniendola así hasta haber logrado una sobre saturación de sales de sodio y manteniendose en solución las sales de potasio durante el calentamiento.
- 2.- Los cristales de cloruro de sodio concentrados se recuperan después de decantar la solución saturada de sales de potasio conservando siempre la misma temperatura.
- 3.- La solución saturada de sales de potasio obtenida en el segundo paso, se baja su temperatura a medio ambiente, durante este enfriamiento y debido a su gran solu-

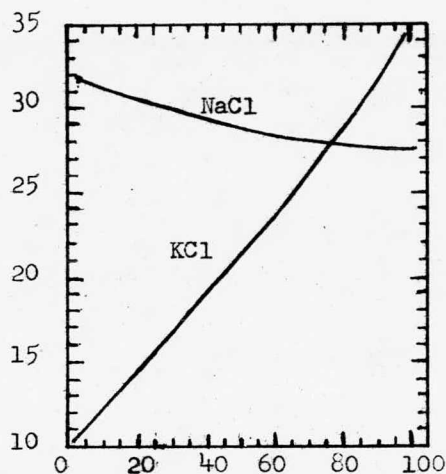


Fig.19. Solubilidades de **KCl** y **NaCl** en soluciones saturadas con respecto a ambos.

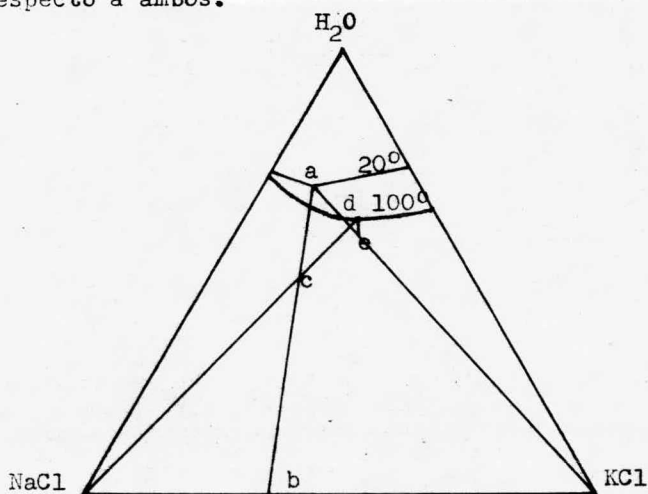


Fig.20. Solubilidades en el sistema **KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O**. En el proceso de lixiviación-cristalización de silvinita, el licor madre de los cristalizadores ( composición a ) es usada para lixiviar la silvinita ( por ejemplo, composición- b ) en proporción para dar una composición total en la línea de unión en c. A 100°C éste resultará un licor de un--

- -

punto triple de composición d y residuo de NaCl. Cuando este licor lixiviado es enfriado en los evaporadores al vacío, suficiente agua debe ser adherida para mantener la composición de cambio no más allá de e. A 20°C, una mezcla de composición c se separa en KCl sólido y el licor madre original el cual es también un punto triple.

bilidad se concentran estas sales.

- 4.- Las sales concentradas en el tercer paso se recuperan por medio de decantación, - quedando nuevamente una solución como la inicial.

Este ciclo se repite varias veces hasta agotar las sales que se encuentran disueltas en la solución saturada.

Siguiendo estos puntos se realizaron varias pruebas con el fin de verificar los resultados tomando en cuenta que en éste proceso se obtienen - - muestras de solución y concentrados, los datos analíticos logrados de estas muestras están clasificadas por consiguiente en concentrados y soluciones.

Concentrados obtenidos durante los pasos consecutivos:

- 1º.- Primera decantación del segundo paso del ciclo 1:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.+
Cl	650.71	-	18.35	-	100.00
Na	255.00	11.09	-	-	60.43
K	50.89	1.39	-	-	7.68
Ca	30.00	1.50	-	-	8.29
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-2.80	15.48

2°.- Segunda decantación del cuarto paso del ciclo-  
1:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.±
Cl	550.605	-	15.53	-	100.00
Na	149.00	6.48	-	-	41.72
K	216.67	5.92	-	-	38.12
Ca	25.00	0.28	-	-	1.80
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-2.80	18.03

3°.- Primera decantación del segundo paso del ciclo  
2:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.±
Cl	600.66	-	16.94	-	100.00
Na	300.00	13.04	-	-	76.97
K	29.64	0.85	-	-	5.02
Ca	19.75	0.99	-	-	5.84
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-2.06	12.16

4°.- Segunda decantación del cuarto paso del ciclo-  
2:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.±
Cl	550.60	-	15.53	-	100.00
Na	140.00	6.09	-	-	39.21
K	268.33	7.29	-	-	46.94
Ca	17.00	0.85	-	-	5.47
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-1.35	8.69

5°.- Primera decantación del segundo paso del ciclo  
3:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.±
Cl	614.00	-	17.30	-	100.00
Na	239.50	10.41	-	-	60.17
K	86.67	2.22	-	-	12.83
Ca	56.11	2.80	-	-	16.18
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-1.87	10.81



6°.- Segunda decantación del cuarto paso del ciclo-3:

ELEMENTO	p.p.m.	e.p.m.+	e.p.m.-	± otros	% e.p.m.±
Cl	580.64	-	16.36	-	100.00
Na	118.00	5.13	-	-	31.35
K	191.67	4.80	-	-	29.95
Ca	61.46	3.07	-	-	18.46
SiO <sub>2</sub>	0.00	-	-	-	-
Li	trazas	-	-	-	-
				-0.326	19.93

Durante todo el proceso se tomaron muestras de la solución en las condiciones del primero y tercer paso, obteniéndose los resultados de la figura-21.

Los resultados obtenidos por evaporación solar y por calentamiento a partir de las concentraciones anteriores son graficados donde se aprecia, que la concentración de cloruro de sodio y cloruro de potasio disminuye, no así el cloruro de calcio que va aumentando su concentración. Ver figura 22.

#### III.4.- FLOTACION.

El proceso de flotación se usa para separar un mineral de una mezcla de dos o más minerales en suspensión en agua. El proceso de la flotación y el uso en ella de los reactivos, es mucho muy importante para la industria. Aún cuando el proceso se usa-

		Cl <sup>-</sup>	Nappa	K ppm	Ca ppm	NaCl ppm	KCl ppm	CaCl <sub>2</sub> ppm
1ro.-	TEMP. AMB.-	212233.20	91304.35	57352.93	16512.96	231913.05	109544.10	45740.90
	T. 100°C .-	232255.20	64062.50	59375.00	34548.56	162718.75	113406.25	95700.62
	T <sub>2</sub> 100°C .-	238261.80	65517.24	62068.97	41202.24	166413.79	118551.73	114130.20
2do.-	TEMP. AMB.-	240264.00	59333.33	60000.00	42645.12	150706.66	114600.00	118126.98
	T. 100°C .-	246270.6	57142.86	58928.57	43607.04	145142.86	112553.57	120791.50
	T <sub>2</sub> 100°C .-	258283.8	53571.43	57142.86	55230.24	136071.43	109142.86	152987.76
3ro.-	TEMP. AMB.-	-	43580.00	58928.58	59799.36	110693.20	112553.59	165644.23
	T. 100°C ,-	-	42864.00	62500.01	-	108874.56	119375.02	-
	T <sub>2</sub> 100°C .-	250275.0	35720.00	53571.44	-	90728.80	102321.45	-
4to.-	TEMP. AMB.-	248272.8	32000.00	50000.00	67534.8	81280.00	95500.00	187071.40
	T. 100°C .-	256281.6	30500.00	50000.00	71542.8	77470.00	95500.00	198173.56
	T <sub>2</sub> 100°C ,-	272299.2	25000.00	52500.00	82965.6	63500.00	100275.00	229814.71
5to.-	TEMP. AMB.-	276303.6	20000.00	53500.00	87174.00	50800.00	102185.00	241471.98
	T. 100°C ,-	280308.0	15000.00	55000.00	94989.6	38100.00	105050.00	363121.19
	T <sub>2</sub> 100°C .-	328360.8	5000.00	59000.00	126252.00	12700.00	112690.00	349718.04
6to.-	TEMP. AMB.-	340374	5000.00	57500.00	130660.00	12700.00	109825.00	361930.42

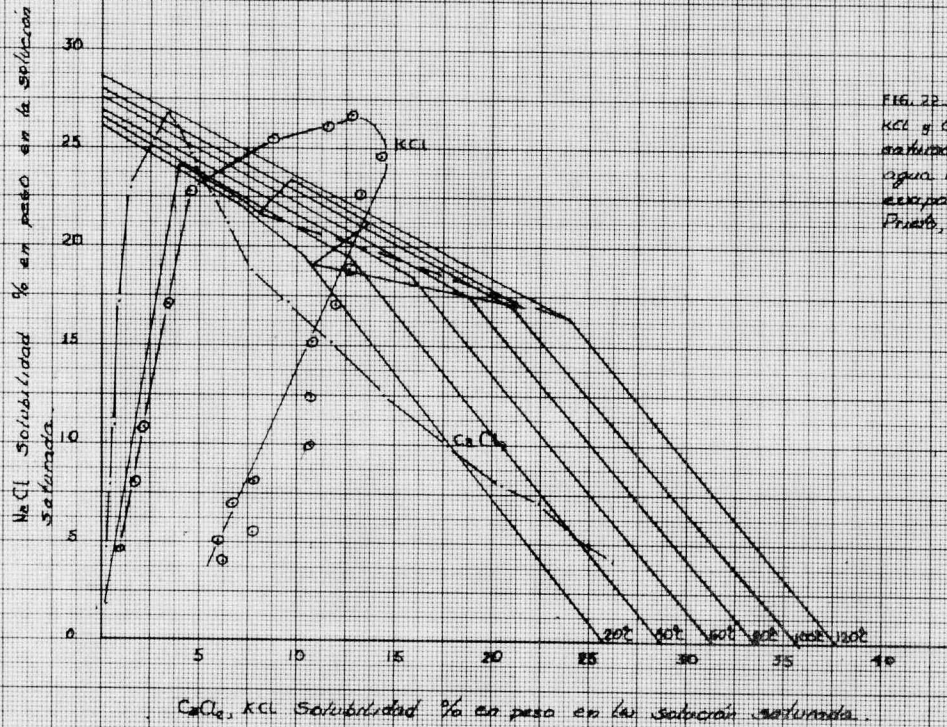


FIG. 22. Solubilidad del KCl y CaCl<sub>2</sub> en solución saturada de NaCl en agua de las lagunas de evaporación, en Cerro Prieto, B. B.

casi exclusivamente por la industria minera, otras industrias están conscientes de la versatilidad de la flotación como un medio para hacer la separación de mezclas físicas de muchos materiales.

El propósito es hacer una descripción de los procesos de flotación y la función de los reactivos.

En el proceso de flotación:

En el beneficio de mena por flotación, primeramente es necesario moler el mineral y reducirlo a partículas finas, usualmente en presencia de agua, hasta que los distintos componentes de la mena estén liberados unos del otro.

Una mena puede determinarse como roca que contiene suficiente mineral de valor económico para hacer su extracción co

La suspensión del mineral molido en agua se le conoce por el nombre de pulpa. Ciertas sustancias químicas adecuadas incluyendo compuestos para producir espuma, son mezclados con la pulpa, por medio de agitación mecánica y la pulpa acondicionada es conducida a las máquinas de lotación. Se introduce aire, dispersandolo en la pulpa en forma de burbujas finas. Normalmente las partículas de minerales que se desean recuperar van unidas a las burbujas de aire acumulados en la superficie de la pulpa como una espuma mineralizada. Esta espuma es removida en forma de concentrado, la ganga permanece mojada, saliendo del fondo de la máquina como cola. El concentrado se puede limpiar para mejorar su grado con o sin la ayuda de reactivos adicionales, para darle al concentrado final una pureza satisfactoria para su uso comercial.

En algunos casos es preferible flotar la ganga y recuperar el constituyente valioso en forma de cola. A medida que los minerales de alta ley se van haciendo más escasos. El proceso de flotación se hace cada día más usual para obtener la recuperación de los componentes valiosos en forma económica. Siendo esto particularmente efectivo en el caso de minerales complejos, cuyo tratamiento por otros procesos resultaría antieconómico.

El proceso de flotación es antiguo, pero el uso de los reactivos de flotación selectivo data de 1920. La flotación es ahora el proceso predominante usado para la concentración de minerales de sulfuros metálicos. Este proceso es también importante en el beneficio de menas que contienen cobre nativo, oro y plata. A medida que los métodos y los reactivos se mejoran, los minerales oxidados de plomo, zinc, fierro y cobre van siendo más susceptibles de ser recuperados por flotación. En años recientes, la recuperación de minerales no-metálicos por medio de la flotación ha aumentado enormemente y continúa aumentando. Ejemplo de ello es la flotación de fosfatos, fluorita, feldespato, silvita, barita, cuarzo, mica, talco, roca para cemento y calizas. Otro ejemplo de la utilidad del proceso de flotación es su uso para recuperar millones de toneladas de carbón fino, de material fino de desperdicio. Por años estos desperdicios fueron acumulados como una mezcla sin valor de carbón, tierra suelta y calizas, parte de éstas acumulaciones sufrían de lavamiento en el tiempo de lluvias llegando a veces a los ríos, causando la contaminación de las aguas, ahora este carbón fino es recuperado económicamente por flotación, y se usa como combustible en la generación de energía eléctrica.

### III.5.- REACTIVOS DE FLOTACION Y SU USO.

En la flotación, la pulpa es agitada con - - reactivos apropiados cuya acción es hacer que las - superficies de las partículas minerales se conviertan en hidrofóbas o sea repelentes al agua (de hecho grasosas) en cuya condición las partículas son flotables. Los reactivos pueden haber sido agregados para humedecer o conservar humedecidas las partículas de la ganga que pueden tener una tendencia a flotar. La operación que consiste en preparar las superficies de las partículas minerales de este modo se conoce con el nombre de acondicionamiento. Después de un período determinado de acondicionamiento la pulpa pasa a la máquina de flotación. Entonces se introduce aire en la pulpa junto con un reactivo espumante al que se le denomina espumante, cuya función es la de hacer que la entrante corriente de aire se desbarate o rompa formando burbujas pequeñas, es conveniente hacer notar que el espumante algunas veces se agrega durante la operación de acondicionamiento. Las partículas minerales que son repelentes al agua se adhieren a las burbujas en cuanto establecen contacto con ellas. Las burbujas cargadas con las partículas minerales de la pulpa en donde se colectan forman una espuma que continuamente se derrama o bien es rastrillada descargandola sobre el vertedor de la celda. Los minerales de ganga tienen poco o ninguna tendencia para pegarse a las burbujas por lo que salen de la máquina de flotación como colas.

Los espumantes son compuestos orgánicos heteropolares que tienen uno o más grupos no-polares de hidrocarburos repelentes al agua, unidos a la parte polar que presenta afinidad hacia el agua, estos mi

nerales de superficie activa se colectan en la interfase aire-agua, bajando la tensión superficial - del agua de la pulpa.

Un volumen suficiente de espuma se puede producir usando una pequeña cantidad de espumante - (15 - 25 mg./<sub>t</sub>.) la espuma debe ser fuerte y estable para que soporte el peso mineral a separar y para que permita así ser removido de la pulpa. Por otro lado, la espuma debe romperse tan pronto como salga de la celda de flotación.

Los espumantes deben mostrar poco o ningún poder colector, hacia la mayoría de los minerales a excepción hecha de minerales que tienen flotabilidad natural. Además el pH de la pulpa y la presencia de otros modificadores no deben tener influencia apreciable en las propiedades espumantes. Muchos espumantes tienen muy poca solubilidad en agua, 1% o menos, a un así, estos son dispersados rápidamente en una pulpa acuosa.

Los espumantes más comunmente usados son el aceite de pino, alcoholes alifáticos, éteres alquílicos del propilen glicol y ácido crecílico.

Los colectores, su función es promover el contacto y unión entre la partícula que se va a flotar y la burbuja de aire. Generalmente el colector forma sobre la partícula de mineral una superficie repelente al agua, lo cual ayuda a su unión con la burbuja de aire.

Los colectores se clasifican en dos tipos:

Aniónicos.- Es un colector aniónico, la parte de la molécula que forma una superficie repelente al agua, sobre la partícula de mineral que lleva

una carga negativa.

**Catiónicos.**- Es un colector catiónico, esa parte que esta cargada positivamente.

En cierto sentido, los colectores se parecen a los espumantes. El parecido radica en que las moléculas de ambos son hetero-polares, pero difieren en su parte polar. La parte polar del colector debe tener afinidad específica hacia un mineral específico, mientras que la parte polar del espumante debe tener solo afinidad hacia el agua.

Los colectores, al igual que los espumantes, son hetero-polares con una parte no-polar y repelente al agua, y otra parte polar que puede ser mojada. La parte no-polar del colector está orientada lejos del mineral, lo cual permite su repelencia al agua. La parte es absorbida sobre la superficie del mineral o reacciona con la misma. La parte polar del colector tiene afinidad por una determinada clase de minerales.

Los colectores de tipo aniónico incluyen los ácidos grasos, xantatos, ditiofosfatos, aceites sulfonados y ácidos grasos sulfonados. Los xantatos y los ditiofosfatos son usados principalmente en la flotación de sulfuros y metales preciosos. Muchos minerales no sulfurados y no metálicos se pueden flotar con los otros colectores aniónicos.

Los colectores catiónicos incluyen las aminas de ácidos grasos y de resinas de pino y sus acetatos, los cuales son utilizadas en la flotación de minerales silíceos y silicatos, así como la flotación de silvita en menas potásicas.

**Modificadores.**- El uso de un modificador es-



a veces necesario antes de cualquier colector sea agregado para que el mineral valioso respondan fácilmente. Esto se debe a las propiedades particulares del mineral. Los agentes modificadores pueden ser clasificados en uno de los siguientes tipos, de acuerdo a sus funciones:

Reguladores de pH.

Depresores.

Activadores.

Sulfurizadores.

Los dicromatos son usados para inhibir la flotación de la galena, si un mineral ha sido deprimido o no presenta flotabilidad, entonces se hace uso de un activante para aumentar su susceptibilidad a la flotación. El sulfato de cobre es activante normalmente usado en la flotación de la esfalerita.

En la flotación de los no-metálicos, el ácido fluorhídrico se usa para mantener deprimido el cuarzo en la flotación de los feldespatos, usando aminas como colector. El silicato de sodio también es un depresor del cuarzo, usado en la flotación de fluorita. El ácido sulfúrico se usa en la flotación de las micas para deprimir igualmente el cuarzo, el quebracho deprime la calcita y dolomita, otro tanto hace el almidón caustico en la flotación de fluorita con ácidos grasos.

Dosificación.- No hay regla fija respecto a las cantidades de reactivos que deben usarse. Las cantidades obtenidas varían con la clase de mena que va a ser beneficiada.

Tamaño de partícula.- Como los minerales se-

encuentran entre la roca encajonante, es necesario-quebrar o moler la roca a un tamaño tal, que las partículas de mineral deseado queden liberadas de las partículas de la ganga. Una sobremolienda puede causar pérdida de mineral valiosa en las lamas y por el contrario, una molienda demasiado gruesa puede acarrear pérdidas de mineral en las colas. La molienda correcta solo se puede determinar por medio de pruebas de laboratorio, siempre es más deseable moler tan grueso como sea posible los tamaños máximos para la mayoría de los sulfuros metálicos están entre 48 y 65 mallas, algunos minerales no-metálicos son ahora fácilmente flotados en partículas mayores de 48 mallas.

Acondicionamiento.- El acondicionamiento es el proceso por medio del cual se mezcla la pulpa con los reactivos, en una etapa inmediata anterior al proceso de flotación. En algunos tipos de menas, el mineral no responde normalmente al acondicionamiento a menos que se eliminen las lamas u otras sales solubles que están interfiriendo. Un método muy común para lograr esto es la atrición de la pulpa para remover la capa superficial que empaña a la partícula, seguido de un deslame en clasificador oscilón. A menudo el uso de ácidos o álcalis son de mucha ayuda para lograr que durante la atrición, se elimine esa película que cubre la partícula. Las ventajas de deslamar la pulpa son varias: reducción en el consumo de reactivos, en el tiempo de acondicionamiento, el número de celdas de flotación, y una mejora en los resultados metalúrgicos.

En la etapa de acondicionamiento hay varios factores que deben ser tomados en consideración:

- a).- Porcentaje de sólidos.
- b).- Tiempo de tratamiento.
- c).- Temperatura.
- d).- Intensidad del tiempo de aereación.
- e).- Orden de adición de los reactivos de flotación.

La intensidad de la pulpa es muy importante en el acondicionamiento de muchas menas, especialmente las no-metálicas, con las cuales los resultados y el ahorro de reactivos se mejoran notablemente, cuando el acondicionamiento se hace a altos sólidos. Ejemplo de ello es la flotación de minerales de fierro en la purificación de la arena para vidrio, por medio de sulfonatos, y la de fluorita con el uso de ácidos grasos.

El tiempo de acondicionamiento es también importante, un período demasiado corto puede ser suficiente y uno demasiado largo puede aumentar el consumo de energía eléctrica. El tiempo requerido está relacionado con la densidad de la pulpa, temperatura e intensidad de agitación, así como la rapidez de reacción del reactivo con la superficie del mineral. Una temperatura elevada puede ser benéfica en la etapa de acondicionamiento. Cuando el costo del proceso de calentamiento de agua, sea muy alto, éste podrá abatirse por la disminución del consumo de reactivos. Con el acondicionamiento, la adición de reactivos usualmente se hace en el siguiente orden:

- 1.- Agente modificador.
- 2.- Reactivo depresor o activador.

### 3).- Colectores y espumantes.

Debe hacerse notar, sin embargo, que el orden de adición es mejor determinarlo por medio de pruebas.

Las pruebas de flotación que se realizaron en la elaboración de ésta tesis, fueron desarrolladas en el Laboratorio de Fomento Minero, se consideraron para su ejecución las variables que se señalaron anteriormente, logrando por lo tanto, una variación en los resultados de cada una de ellas. La muestra sólida a flotar con diferentes porcentajes en el peso de los compuestos de cloruro de potasio y de sodio, de la que se parte para concentrar el potasio, fueron preparados previamente con reactivos químicamente puros, así como también la solución saturada que se utilizó en ésta prueba.

Las diferentes variables tomadas en consideración en estas pruebas, fueron las siguientes:

La cantidad de mezcla sólida, temperatura, velocidad de agitación, aereación, pH, depresor, colector, espumante, tiempo de acondicionamiento y tiempo de flotación.

Los resultados obtenidos se expresan como balance metalúrgico en las figuras 23 a la 33, por considerar que las mejores condiciones obtenidas son las que se refieren a las dos últimas pruebas, nos basaremos en ellas para el desarrollo del proceso.

MOLIENDA -65 MallasMUESTRA GEOTERMICA.PROCESO FlotacionMOLINO de porcelanaPRUEBA A FIG. 23MAQUINA Galigher

PRODUCTO	PESO %	R.C	L E Y E S			C O N T E N I D O S			D I S T R I B U C I O N		
			Na	K	Fe				Na	K	Fe
C-1	1.63		0.26	0.025	0.82				1.1	9.4	14.1
C-2	24.15		0.39	0.007	0.075				20.8	34.0	10.6
C-3	2.94		0.41	0.005	0.060				7.7	8.5	5.0
Colas	69.77		0.40	0.003	0.020				70.4	42.1	69.6
									100.0	100.0	100.0
LEY CALCULADA											

PASO	REACTIVOS	g/Ton	LUGAR	T.AC.	T.FL.	pH	TEMP.	N O T A S
1	ALUMINUM CAUST. 10%	60	C.F.	3'	1 1/2'	7.0	70°C	MUESTRA - AGUA GEOTERMICA VEL. DE AGITACION 900 r.p.m. VEL. DE MOLINO 8 r.p.m. TIEMPO DE MOHENDA 10 min MOHENDA HUMEDA. #IRE 20" TIPO DE ESPUMA BURBUJA FINA.
	ARNEER HT 1%	240		3'	1 1/2'			
	AC. CREGINCO 1%	64		1'	1 1/2'			
2	ALUMINUM CAUST. 10%	60	C.F.	3'	2'	7.6	70°C	
	ARNEER HT 1%	400		3'	2'			
	AC. CREGINCO 1%	128		1'	2'			
3	ALUMINUM CAUST. 10%	120	C.F.	3'	2'	7.0	70°C	
	ARNEER HT 1%	500		3'	2'			
	AC. CREGINCO 1%	192		1'	2'			

MOLIENDA -60 a -65 MALLASMUESTRA GEOTERMICAPROCESO FLOTACIONMOLINO DE PORCELANAPRUEBA B F19.24MAQUINA GALISHER

PRODUCTO	PESO %	R.C	L E Y E S			C O N T E N I D O S			D I S T R I B U C I O N	
			Na	K				Na	K	
C-1	0.66		0.35	0.016				0.58	2.13	
C-2	9.95		0.39	0.007				9.74	13.11	
C-3	5.92		0.40	0.006				5.92	6.34	
COLAS	83.45		0.40	0.005				83.76	77.71	
LEY CALCULADA										

PASO	REACTIVOS	g/Ton	LUGAR	T.AC.	T.FL.	pH	TEMP.	N O T A S
1	AMIDIO CRIST. 10% ARITEER HT 1% AC. CRESILICO 1%	240 240 64	C.F.	3' 2' 5'	1'	7.0	70°C	VEL. DE AGITACION 900 r.p.m. VEL. DE MOLINO 87 r.p.m. TIEMPO DE MOLIBANDA 15 min
2	AMIDIO CRIST. 10% ARITEER HT 1% AC. CRESILICO 1%	240 400 128	C.F.	3' 2' 5'	2'	7.0	70°C	MOLIENDA SECA. NO SE LLEVÓ CONTROL DE DIRG.
3	AMIDIO CRIST. 10% ARITEER HT 1% AC. CRESILICO 1%	240 500 192	C.F.	3' 2' 5'	2'	7.0	70°C	TIPO DE ESPUMA BURBUJA GRANDE.

MOLIENDA -60 a -65 MALLAS

MUESTRA GEOTERMICA

PROCESO FLOTACION

MOLINO DE PORCELANA

PRUEBA C FIG. 25

MAQUINA GALIGHER

PRODUCTO	PESO %	R.C	L E Y E S			C O N T E N I D O S			D I S T R I B U C I O N	
			Na	K					Na	K
C-1	0.82		0.38	0.006				0.83	0.896	
C-2	6.05		0.38	0.006				5.99	5.376	
C-3	14.88		0.39	0.004				14.59	10.276	
C-4	2.09		0.40	0.003				2.11	1.075	
COMAS	76.17		0.40	0.006				76.67	81.899	
LEY CALCULADA										

PASO	REACTIVOS	g/Ton	LUGAR	T.AC.	T.FL.	pH	TEMP.	N O T A S	
1	QUEBRACHO 1%	60	C.F.	3'	1'	6.7	70°C	VEL. DE AGITACION	900 rp.m.
	ARMEEN HT 1%	240	"	2'				VEL. DEL MOLINO	84 rp.m.
	AC. CREOLICO 1%	64	"	1'				TIEMPO DE MOHENDA	15 min.
2	QUEBRACHO 1%	60	C.F.	3'	2'	6.7	70°C	MOHENDA	SECA
	ARMEEN HT 1%	400	"	2'				NO SE LLEVO CONTROL DE	
	AC. CREOLICO 1%	128	"	1'				AIRE.	
3	QUEBRACHO 1%	120	C.F.	3'	2'	6.7	70°C	TIPO DE ESPUMA	BURBUJA GRANDE
	ARMEEN HT 1%	500	"	2'					
	AC. CREOLICO 1%	192	"	1'					
4	QUEBRACHO 1%	180	C.F.	3'	2'	6.7	70°C	MUESTRA ..	AGUA GEOTERMICA
	ARMEEN HT 1%	60	"	2'					
	AC. CREOLICO 1%	560	"	1'					
	ALMILDO CASIANA	256	"	3'					

MOLIENDA -60 MALLASMUESTRA GEOTERMICAPROCESO FLOTACIONMOLINO DE PORCELANAPRUEBA D FIG. 26MAQUINA GALISHER

PRODUCTO	PESO %	R.C	L E Y E S			C O N T E N I D O S			D I S T R I B U C I O N		
			Na	K					Na	K	
ESPUMA	1.16		37.5	5.0				1.007	24.14		
C-1	1.20		37.5	1.5				1.114	4.93		
C-2	9.47		40.0	0.50				9.380	11.68		
CEPAS	88.17		40.5	0.225				88.42	87.74		
LEY CALCULADA											

PASO	REACTIVOS	g/Ton	LUGAR	T.AC.	T.FL.	pH	TEMP.	N O T A S
1	ALUMINO CAUSTICO 1%	120	C.F.	2'	1'	-	45°C	DEBIDO AL EXCESO DE TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO DE LOS REACTIVOS, CON EXCEPCION DEL COLECTOR, SE FORMO UNA ESPUMA CARGADA DE MINERAL, LA CUAL SE ANALIZO.
	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1%	4cc.		2'				
	AC. CROCOINICO	64		-				
	ARMAC T 1%	240		1/2'				
2	ALUMINO CAUSTICO 1%	60	C.F.	1/2'		-	45°C	VEL. DE AGITACION 800 R.P.M. MUESTRA... AGUA GEOTERMICA.
	Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 1%	2cc.		1'				
	ARMAC T 1%	-		1'				





MOLIENDA \_\_\_\_\_

MUESTRA REACTIVOS Q.P.PROCESO FLOTACION

MOLINO \_\_\_\_\_

PRUEBA F FIG. 28MAQUINA SALIGHER

PRODUCTO	PESO %	R.C	L E Y E S			C O N T E N I D O S			D I S T R I B U C I O N		
			Na	K				Na	K		
C-1	4.24		3.20	48.0				0.92	5.90		
C-2	3.30		3.50	48.18				0.93	4.61		
C-3	3.20		4.00	42.50				0.92	3.95		
C-4	3.50		4.50	46.85				1.13	4.76		
C-5	3.10		6.00	44.23				1.23	4.03		
COLAS	72.68		16.00	32.00				24.22	76.75		
LEY CALCULADA											

PASO	REACTIVOS	g/Ton	LUGAR	T.AC.	T.FL.	pH	TEMP.	N O T A S	
1	ALUMINIO CRIST. 1%	60	C.F.	2'	2 1/2'	7.8	70°C	MUESTRA SINTETICA CARGA 500g. 60% KCl 300g. 40% NaCl 200g. VEL. DE AGITACION 900 r.p.m.	
	ARMIBEN HT 1%	160		- 1/2'					
	AC. CREC. + E-70	64							
2	ALUMINIO CRIST. 1%	20	C.F.	2'	1'	7.8	70°C		
	ARMIBEN HT 1%	100		1'					
	AC. CREC. + E-70	-							
3	ALUMINIO CRIST. 1%	70	C.F.	2'	1 1/2'	7.8	69.5°C		
	ARMIBEN HT 1%	160		1/4'					
	AC. CREC. + E-70	64							
4	ALUMINIO CRIST. 1%	-	C.F.		2 1/2'	7.8	69.0°C		
	ARMIBEN HT 1%	160		1/4'					
	AC. CREC. + E-70	64							
5	ALUMINIO CRIST. 1%	60	C.F.	2'	2'	7.8	69°C		
	ARMIBEN HT 1%	160		1/4'					
	AC. CREC. + E-70	64							











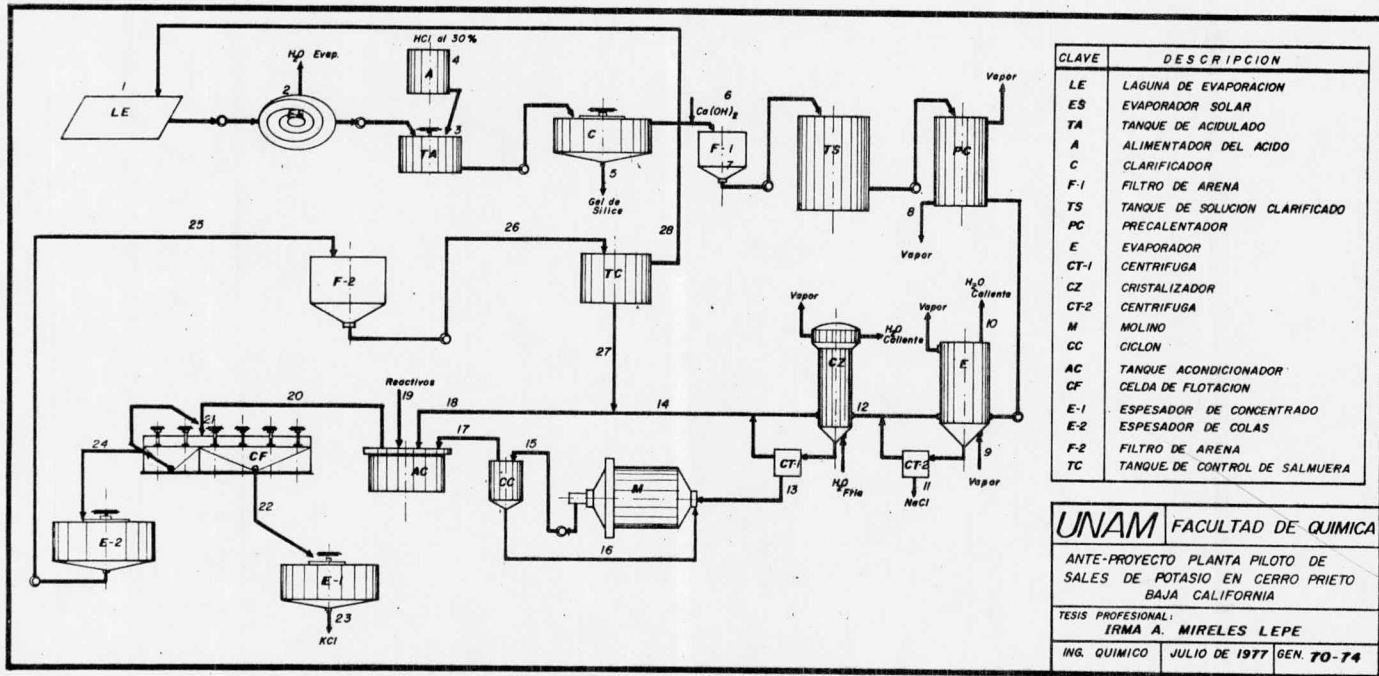
### III.6.- PROCESO PROPUESTO.

De acuerdo a las condiciones climatológicas que se tienen en la zona donde se encuentra localizada la planta Geotermoeléctrica de Cerro Prieto, - en donde hay una gran incidencia de rayos solares y llueve poco, se puede recurrir en principio a la - evaporación solar, que se usa en muchos lugares del mundo tales como Las Antillas, Europa Meridional, - Asia, Africa, Oceanía, América del Sur. En Estados- Unidos aproximadamente el 22% de la sal se produce por evaporación solar del agua marina o de las salmueras de los lagos interiores. En México gran parte de la sal que se produce utiliza la evaporación solar.

El evaporador solar que se propone para la - evaporación primaria de agua de la salmuera de Cerro Prieto, (ver fig. 34) será similar al que utiliza Sosa Texcoco, S.A., con las dimensiones y características adecuadas para concentrar las sales contenidas en la salmuera. Con ésta concentración entra al proceso que se propone y para el tratamiento de separación de sales de la salmuera.

La salmuera procedente del evaporador solar, se bombea al tanque de acidulado en donde se adiciona ácido muriático para eliminar la sílice, pues de no hacerlo cristalizaría en los evaporadores y provocaría serios problemas. La mezcla ácido-salmuera, se efectúa por medio de un agitador, con el fin de estimular la formación del gel de sílice.





CLAVE	DESCRIPCION
LE	LAGUNA DE EVAPORACION
ES	EVAPORADOR SOLAR
TA	TANQUE DE ACIDULADO
A	ALIMENTADOR DEL ACIDO
C	CLARIFICADOR
F-1	FILTRO DE ARENA
TS	TANQUE DE SOLUCION CLARIFICADO
PC	PRECALENTADOR
E	EVAPORADOR
CT-1	CENTRIFUGA
CZ	CRISTALIZADOR
CF-2	CENTRIFUGA
M	MOLINO
CC	CICLON
AC	TANQUE ACONDICIONADOR
CF	CELDA DE FLOTACION
E-1	ESPESADOR DE CONCENTRADO
E-2	ESPESADOR DE COLAS
F-2	FILTRO DE ARENA
TC	TANQUE DE CONTROL DE SALMUERA

**UNAM** FACULTAD DE QUIMICA

ANTE-PROYECTO PLANTA PILOTO DE SALES DE POTASIO EN CERRO PRIETO BAJA CALIFORNIA

TESIS PROFESIONAL:  
**IRMA A. MIRELES LEPE**

ING. QUIMICO JULIO DE 1977 GEN. 70-74

## BALANCE DE MATERIA DEL DIAGRAMA DEL PROCESO PROPUESTO

BASE: 3666.84 m<sup>3</sup>/día ; 4033.58 t/día  $Q = 1.1$ 

	(1)	(1)	(2)	(3)	(3)	(4)	(5)
COMPUESTO	t	%	t	t	%	t	t
NaCl	83.172	2.062		83.172	16.60		
KCl	15.065	0.3735		15.065	3.01		
LiCl	0.585	0.0145		0.585	0.12		
S.O <sub>2</sub>	3.771	0.0935		3.771	0.25		
CaCl <sub>2</sub>	4.961	0.1230		4.961	0.99		
MgCl <sub>2</sub>	0.335	0.0083		0.335	0.07		
OTRAS SALES	0.609	0.015		0.609	0.12		
H <sub>2</sub> O	3925.082	97.3101		392.908	78.34		
HU al 30%						0.044	
SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O							4.813
Cu(OH) <sub>2</sub>							
H <sub>2</sub> O evap.			3532.57				
VAPOR							
ALMIDON CAUSTICO 1%							
ACIDO ACETICO 1%							
ARABEN HTD AL 1%							
ACEITE DE PINO							
SUMA TOTAL	4033.58	100.00	3532.57	501.01	100.00	0.044	4.813

BALANCE DE MATERIA DEL DIAGRAMA DEL PROCESO PROPUESTO

BASE: 3666.89 m<sup>3</sup>/día ; 4033.58 t/día  $Q = 1.1$

	(6)	(7)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
COMPUESTO	t	t	%	t	t	t	t
NaCl		83.172	16.73				73.109
KCl		15.065	3.03				
LiCl		0.585	0.12				
SiO <sub>2</sub>							
CaCl <sub>2</sub>		4.980	1.00				
MgCl <sub>2</sub>		0.335	0.07				
OTRAS SALES		0.609	0.12				
H <sub>2</sub> O		392.510	78.94				
HCl al 30%							
SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O							
Ca(OH) <sub>2</sub>	0.013						
H <sub>2</sub> O evap.						237.69	
VAPOR				43.809	85.020		
ALMIDON CAUSTICO 1%							
ACIDO ACETICO 1%							
ARMEN HTD AL 1%							
ACEITE DE PINO							
SUMAS TOTAL	0.013	497.256	100.00	43.809	85.020	237.69	73.109

BALANCE DE MATERIA DEL DIAGRAMA DEL PROCESO PROPUESTO							
BASE : 3666.84 m <sup>3</sup> /día ; 4033.58 t/día $Q = 1.1$							
	(12)	(12)	(13)	(13)	(14)	(14)	(15)
COMPUESTO	t	%	t	%	t	%	t
NaCl	27.571	17.81	2.757	12.22	24.814	18.76	2.729
KCl	29.588	19.11	15.530	68.81	14.058	10.63	15.375
LiCl	1.828	1.18	0.182	0.81	1.646	1.24	0.180
SiO <sub>2</sub>							
CaCl <sub>2</sub>	15.578	10.02	1.552	6.88	13.966	10.56	1.536
MgCl <sub>2</sub>	1.047	0.68	0.105	0.47	0.942	0.71	0.104
OTRAS SALES	1.858	1.20	0.186	0.82	1.672	1.26	0.184
H <sub>2</sub> O	77.41	50.00	2.257	10.00	25.153	56.83	2.234
HCl al 30%							
SiO <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O							
Ca(OH) <sub>2</sub>							
H <sub>2</sub> O evap.							
VAPOR							
ALMIDON CAUSTICO 1%							
ACIDO ACETICO 1%							
ARMEN HTD AL 1%							
ACEITE DE PINO							
SUMA TOTAL	154.82	100.00	22.569	100.00	132.251	100.00	22.342



## BALANCE DE MATERIA DEL DIAGRAMA DEL PROCESO PROPUESTO

BASE: 3666.84 m<sup>3</sup>/día ; 4033.58 t/día  $Q = 1.1$ 

	(19)	(20)	(20)	(21)	(22)	(22)	(23)
COMPUESTO	t	t	%	t	t	%	t
NaCl		27.516	27.82		9.192	15.17	0.9192
KCl		29.279	18.97		18.760	31.03	14.03
LiCl		1.824	1.18		0.608	1.01	0.060
SiO <sub>2</sub>							
CaCl <sub>2</sub>		15.487	10.03		5.162	8.54	0.516
MgCl <sub>2</sub>		1.045	0.68		0.348	0.58	0.035
OTRAS SALES		1.854	1.20		0.618	1.02	0.062
H <sub>2</sub> O		77.365	50.11		25.788	42.65	2.579
HU al 30%							
SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O							
Ca(OH) <sub>2</sub>							
H <sub>2</sub> O evap.							
VAPOR							
ALMIDON CAUSTICO 1%	$5.373 \times 10^3$	0.005					
ACIDO ALETICO 1%							
ARMIGEN HTD AL 1%				$2.687 \times 10^{-3}$	0.001		
ACEITE DE PINO				$0.716 \times 10^{-3}$	0.0005		
SUMA TOTAL	$5.373 \times 10^3$	154.375		$3.403 \times 10^{-3}$	60.4575	100.00	18.1992

## BALANCE DE MATERIA DEL DIAGRAMA DEL PROCESO PROPUESTO

BASE : 3666.84 m<sup>3</sup>/día ; 4033.58 t/día  $Q = 1.1$ 

	(23)	(24)	(24)	(25)	( )	( )	( )
COMPUESTO	%	t	%	(25, 26, 27, 28)			
NaCl	5.04	18.344	19.53		SE CONSIDERAN COMIAS		
KCl	77.09	10.579	11.19		MISMAS CONDICIONES DE		
LiCl	0.33	1.216	1.29		LA LINEA 24		
SiO <sub>2</sub>							
CuCl <sub>2</sub>	2.84	10.325	10.99				
MgCl <sub>2</sub>	0.19	0.696	0.74				
OTRAS SALES	0.34	1.236	1.32				
H <sub>2</sub> O	14.17	51.576	54.91				
HCl al 30%							
SiO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O							
Cu(OH) <sub>2</sub>							
H <sub>2</sub> O evap.							
VAPOR							
ALMIDON CAUSTICO 1%		0.0045	0.00479				
ACIDO ACETICO 1%							
ARABEN HTD AL 1%							
ACEITE DE PINO							
SUMA TOTAL	100.00	93.92	100.00				

La mezcla se bombea a un sedimentador, lo -  
grando que por gravedad se deposite en el fondo la  
gel formada y se pueda separar por los medios apro-  
piados, en la misma forma como se hace en las plan-  
tas de tratamiento de agua.

Al salir la salmuera del sedimentador, es ne-  
cesario agregar hidróxido de calcio, para neutrali-  
zar la acidez.

Procurando que la salmuera no contenga sólidos en suspensión es necesario filtrar la salmuera, utilizando un filtro de arena, esto se hace con el objeto de tener una salmuera limpia y prevenir la -  
posible contaminación con materiales extraños en -  
las sales que se obtendrán en los procesos de evapo-  
ración y flotación.

Del filtro de arena, la salmuera cae en el -  
depósito de salmuera clarificada y de aquí se bom-  
bea a un calentador, en donde se eleva la temperatu-  
ra de la salmuera, hasta la temperatura de ebulli-  
ción, utilizando vapor recalentado. Una vez caliente se introduce a un evaporador para concentrarla, -  
cristalizando en ésta forma la mayor parte del clo-  
ruro de sodio contenido en la salmuera.

El cloruro de sodio cristalizado es separado de la solución por medio de una centrífuga, el li-  
cor se pasa a través de una línea al cristizador, donde se abate la temperatura de la salmuera, debe-  
haber control a  $40^{\circ}\text{C}$ , ocasionando la cristalización del cloruro de potasio y arrastrando cloruro de so-  
dio presente en la solución. Los cristales son sepa-  
rados por una segunda centrífuga.

Los sólidos separados procedentes de la se-  
gunda centrífuga pasan a una molienda con objeto de

liberar los cristales de cloruro de potasio englobados en los cristales de cloruro de sodio durante la cristalización. Después de la molienda, se envían los sólidos a un ciclón el cual clasifica el tamaño de partícula requerida, con el fin de poder llevar a cabo la flotación, las partículas más grandes son regresadas a molienda.

Continuando con la descripción del proceso - se puede mencionar que después del ciclón, las partículas de cloruro de potasio y cloruro de sodio, - éste último en pequeña cantidad, son enviados a un tanque de acondicionamiento en donde también llegan dos líneas, una de ellas procedente del cristalizador con el licor residual de la cristalización del cloruro de potasio, la otra línea mencionada vienesiendo la adición de los reactivos.

El objeto que se persigue, es mantener la solución sobresaturada y así evitar la solubilidad de las partículas de cloruro de potasio procedente del ciclón, al mismo tiempo preparar la solución de sal muera sobresaturada para el proceso de flotación; - esto se hace acondicionando la solución con los - - reactivos y manteniendo la temperatura constante a 40°C.

Los reactivos deben tener tiempo y orden de adición, primeramente se agrega el depresor, en este caso se utiliza sosa cáustica al 1%, tiene como función hacer los cristales de cloruro de sodio, - magnesio, calcio y litio afines al agua, como segundo término, se debe controlar el pH a 7.5 con ácido acético al 1%, mantener el pH constante es importante para obtener un buen rendimiento en el concentrado.



Para mantener la solución salmuera sobresaturada acondicionada y homogénea, el tanque de acondicionamiento cuenta con un agitador giratorio en su base; después es enviada por bombeo o por gravedad a las celdas de flotación, en donde se siguen añadiendo los reactivos de flotación faltantes, como son: el colector armeen HTD al 1%, el cual tiene como finalidad hacer que las partículas de cloruro de potasio repelentes al agua, por lo tanto contiene las características de colector selectivo de potasio.

Con un pequeño lapso de acondicionamiento de el colector en las celdas de flotación, se agrega el espumante aceite de pino al 1%, se deja acondicionar poco tiempo, entonces se introduce aire en la pulpa formando burbujas pequeñas, las partículas de potasio repelentes al agua se adhieren a la burbuja en cuanto establecen contacto con ellas. Las burbujas cargadas de mineral en este caso de cloruro de potasio, forman una espuma que continuamente es rastrillada descargandola sobre el vertedor de la celda.

La espuma que sale del vertedor es recogida en un tanque de espesamiento, a ésta espuma cargada de mineral se le llama comunmente concentrados.

El concentrado de las máquinas de flotación puede contener de 80 a 85% de agua saturada cuando sale de las limpiadoras, por lo que debe ser sometido a una descantación. La operación se realiza en dos etapas. Primero, el grueso del agua (el mayor volumen) saturada se remueve a un espesador del que se descarga el concentrado en la forma de una pulpa espesa que contiene de 65 a 70% de sólidos; de un 80 a un 90% del agua saturada se derrama como un lí

quido claro retornándose al círculo. La pulpa espesada se envía entonces a un filtro de vacío del - - cual los sólidos son descartados en la forma de una torta que contiene, como regla, de 10 a 12% de agua saturada. Esta secuela es el método más económico - para quitarle el agua al concentrado. El filtrado - es esencial como paso final porque un espesor no da un producto lo suficiente seco para que pueda almacenarse o manejarlo económicamente en el departamento de secado y por último el de empaque.

En el proceso de extracción del cloruro de - potasio o mineral valioso como concentrados, deberá contener la totalidad de ellos con la cantidad de - ganga (sales de cloruro de sodio) que fuere posi- - ble. Aquella parte de la mena que no entra a formar parte del concentrado y que al final se desecha se conoce con el nombre de colas.

Las colas también deben ser decantadas, no - solo para economizar agua saturada sino además para recuperar los reactivos disueltos en ella los que - pueden ser usados de nuevo en el circuito de flota- ción. La masa casi total del agua es evacuada en un espesador colocado tan cerca de la planta como sea - posible y el resto es bombeado donde se acumulen o - depositen las colas.

El espesador consiste esencialmente de un - tanque cilíndrico de acero, madera o concreto, con un mecanismo de arrastre, de movimiento lento, colo - cado en el fondo y que sirve para jalar o barrer - (rastrillar) los sólidos asentados a un punto cen- tral de descarga. Los espesadores de flecha central son comunmente empleados para espesar concentrados, en las plantas pequeñas las colas son espesadas ya - sea utilizando espesadores de anclaje en el pilar -

o columna central o el mismo para concentrados.

Las colas evacuadas al espesador son utilizadas para controlar y mantener constante el nivel de la salmuera en el tanque de acondicionamiento, pasando anteriormente por un filtro de arena, con el objeto de quitar las impurezas que pueda llevar. - Así mismo se acumulan en un tanque, para de aquí - controlar el tanque de acondicionamiento en el proceso de flotación, el exceso que pueda haber de estas aguas (colas) son enviadas a la laguna de evaporación logrando un proceso continuo.

IV.- CONCLUSIONES .

#### IV.- CONCLUSIONES.

- 1.- El cloruro de potasio es muy importante en la industria agrícola, ya que es materia prima en la elaboración de fertilizantes.
- 2.- Actualmente el cloruro de potasio es importado en su totalidad dado que en el país no se cuenta con yacimientos de silvita explotables.
- 3.- Una nueva fuente de cloruro de potasio en solución se presenta en las aguas geotérmicas de Cerro Prieto, Mexicali, B.C.
- 4.- Dada la concentración de ésta solución, se hace explotable el producto.
- 5.- La extracción del cloruro de potasio de las salmueras geotérmica de Cerro Prieto evitaría la importación de éste compuesto potásico, abasteciendo el consumo del mercado nacional al mismo tiempo.
- 6.- Las condiciones de trabajo óptimo, obtenidas en las pruebas de flotación realizadas en laboratorio pueden ser consideradas como base para las pruebas que se realicen en la planta piloto.
- 7.- Los resultados obtenidos del método de flotación en la industria minera hace que el proceso propuesto sea el adecuado para lograr una pureza y recuperación aceptable de las salas de cloruro de potasio.
- 8.- Actualmente el país atraviesa por un período -

económicamente inestable, ocasionando en la industria nacional un descontrol de precios de - equipo con respecto al mercado internacional, - por lo cual se ha considerado el balance económico de el proceso propuesto como un tema de te sis para ser desarrollado en el futuro, tomando se este proceso como base. -

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Estudio del Potencial Geotérmico de Cerro Prieto, B.C. Gerencia General de Construcción. Departamento de Recursos Geotérmicos. Comisión - Federal de Electricidad. México, D.F. Feb. - - 1974.
- 2.- Evaluación Preliminar de los Recursos Geotérmicos de México. Gerencia General de Planeación y Programa. Subgerencia de Recursos Energéticos. Comisión Federal de Electricidad.
- 3.- Estudio Técnico-Económico Preliminar sobre la Obtención de Cloruro de Potasio y Carbonato de Litio a partir del Agua Separada de los Pozos de Cerro Prieto, B.C., Gerencia General de Planeación y Programa. Depto. de Recursos Geotérmicos. Comisión Federal de Electricidad. México, D.F. 1973.
- 4.- Empleo Integral de la Energía Geotérmica en el Valle de Mexicali. Ing. Mañon Mercado A. Comisión Federal de Electricidad.
- 5.- Generación de Energía Eléctrica en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto. Ing. Guiza Lámbarrri J. Comisión Federal de Electricidad. Conferencia Presentada en el Segundo Symposium de las Naciones Unidas, sobre el Desarrollo y Uso de los Recursos Geotérmicos.
- 6.- La Generación de Electricidad mediante la Energía Geotérmica. Ing. Guiza Lámbarrri J. Comisión de Electricidad. Tema presentado en la -

Conferencia Internacional y Exposición sobre -  
Investigación, Desarrollo y Aplicación de la -  
Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Subgeren-  
cia de Recursos Energéticos de la Gerencia Ge-  
neral de Planeación y Programa.

- 7.- Energía a Todo Vapor. Ing. Guiza Lábarri J. -  
Comisión Federal de Electricidad.
- 8.- Fabricación de las Sales de Potasio. Ing. Avi-  
la Galenzoga. Ponencia IMIQ.
- 9.- La Energía Geotérmica en México (Ayer, Hoy y -  
Mañana). Ing. Guiza Lábarri J. Comisión Fede-  
ral de Electricidad. Conferencia presentada en  
la XIV Convención Nacional de Instituto Mexica-  
no de Ingenieros Químicos. Guadalajara, Jalisco.  
Del 6 al 9 de noviembre de 1974.
- 10.- La Obtención de Agua Potable mediante el Vapor  
Endógeno. Ing. Guiza Lábarri J. Comisión Fede-  
ral de Electricidad Sociedad Mexicana de Aguas  
A.C. México, D.F. Feb. 1972.
- 11.- Desaladora de Tijuana y Geotérmia. Gutierrez Ti-  
bón. Comisión Federal de Electricidad.
- 12.- A Technical Buyers. Guide to mineral. Proce- -  
ssing reagents. Compeled by: A. Blake Caldwell,  
E/MJ. June 1968.
- 13.- Physical and Chemical Characteristics of Ar- -  
meen Alephatic Amines. Bulletin No. 72-8. Pro-  
duct Data Bulletin.



- 14.- Cationic Mineral Flotation. Armak Quimicas -  
División.
- 15.- Reactivos para la Flotación de Minerales. Ar--  
mour.
- 16.- Estudio 98 de Guanos y Fertilizantes de Méxi--  
co, S.A.
- 17.- Cerro Prieto Energía del Subsuelo. Folleto. Co  
misión Federal de Electricidad.
- 18.- Flotation.- D-R<sup>#</sup> Denver. Bulletin No. F10-B116.
- 19.- New México. Folleto. Potash.
- 20.- Kalium Chemicals Limited. Regina. Saskatche- -  
wan.
- 21.- Visita a la Planta de Potasio en Saskatchewan,  
Canadá. Ing. P. Salas Guillermo. Consejo de Re  
cursos Minerales y no Minerales. Agosto 4 de -  
1972.
- 22.- Visita a la Mina y Molino de Potasio de la Com  
pañía Duval. Ing. P. Salas Guillermo. Consejo-  
de Recursos Minerales y no Minerales. Agosto -  
5 de 1972.
- 23.- Visita a la Planta de Kallium Chemicals Limi--  
ted. Ing. P. Salas Guillermo. Consejo de Recup  
sos Minerales y no Minerales. Agosto 8 de 1972
- 24.- Allan Potash Mines. Owned by swift Canadian -  
Co. Limited. Texas Gulf Potash Company. United

States Borax & Chemical Corporation. Operated by APM Operators Ltd. Allan, Saskatchewan.

- 25.- Automated Continuous Mining at Silvite by William G. Schultz. Folleto.
- 26.- The Kalium Potash Story por Kalium Chemical Limited. Folleto.
- 27.- Beneficiation of High-Clay Potash ores by Flotation. Bureau of Mines Technical Progress Report. 1971.
- 28.- Rocky Mountain Pound Series. Froth Flotation.- 50th Aniversary vol.
- 29.- A to Z in Potash are Processing. E/MJ vol. 167 # 8.
- 30.- Aguas y Aguas de Desechos. Método Estandar para Exámenes de Aguas. APHA. AWWA. WPCF.
- 31.- Flotation. Gaudin. second edition. Mc. Graw-Hill.
- 32.- Geoquímica. Ramkama. Sahama.
- 33.- Manual del Ingeniero Químico. Tomo I, II. John H. Perry.
- 34.- Solubilities of Inorganic and Metal Organic Compounds. Seidell. Linke. Fourth Ed. Vol. - two.

- 35.- Anteproyecto, Calculo y Operación de una Planta para recuperación de NaCl, KCl y  $\text{LiCO}_3$  de Salmuera Hidrotermal. Bermejo M. Fco. Javier.- Tesis.
- 36.- Concentración de Sales Solubles por Flotación-Concentración de NaCl-Anteproyecto de una Planta Piloto de 20 Toneladas. Guiza Lámbarri J. - Tesis.
- 37.- Estudio Físico-Químico de la Zona Geotérmico - de Cerro Prieto, B.C., Arellano Frias J. M. Tesis.
- 38.- Concentración de Minerales por Flotación. Philip Rabone.



## **TESIS "CLASICAS"**

**PASEO DE LAS FACULTADES 32-D  
FRACC. COPILCO UNIVERSIDAD  
CIUDAD UNIVERSITARIA 20, D. F.**