

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

EVALUACION TECNICO ECONOMICA PARA LA PRO-
DUCCION DE HIDROXIDO DE POTASIO, APROVE-
CHANDO LAS INSTALACIONES DE UNA PLANTA
DE SOSA CLORO.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N

ROBERTO ESPARTACO BARLETTI CHAVARRIA
RUBEN SAENZ ESTRADA

MEXICO, D. F.

1973



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
1973
M. 18



QUIMICA

PRESIDENTE PROF. PABLO HOPE Y HOPE

VOCAL EDUARDO ROJO Y DE REGIL

SECRETARIO CLAUDIO AGUILAR MARTINEZ

1er. SUPLENTE SILVIA TEJADA CASTAÑEDA

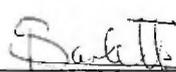
2do. SUPLENTE MARIO RAMIREZ Y OTERO

EL TEMA SE DESARROLLO EN LA PLANTA EN, -
PAJARITOS VERACRUZ Y EN LAS OFICINAS DE-
LA MISMA COMPAÑIA, EN MEXICO D.F.

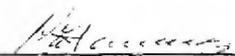


ASESOR ING. CLAUDIO AGUILAR MARTINEZ.

SUSTENTANTES



ROBERTO ESPARTACO BARLETTI CHAVARRIA.



RUBEN SAINZ ESTRADA.

I N D I C E

Págs.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y OBJETIVO DE LA TESIS..... 1

CAPITULO II

MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO..... 16

CAPITULO III

CAPACIDAD DE LA FABRICA 39

CAPITULO IV

CALCULO DE MATERIA PRIMA 53

CAPITULO V

INVERSION FIJA 71

CAPITULO VI

CONCLUSIONES 84

C A P I T U L O I

ANTECEDENTES Y OBJETIVO DE LA TESIS.

ANTECEDENTES.

En los últimos años el mercado de cloro a venido --- aumentando continuamente. Este aumento ha sido provocado por la exigencia del mercado de cloruro de vinilo.

Petróleos Mexicanos, el productor nacional de cloruro de vinilo, anunció la ampliación de sus instalaciones - al doble de su capacidad actual, pues todavía parte de este importante monómero se trae de importación causando grandes fugas de divisas a la economía nacional.

La demanda de cloro por parte de Petróleos Mexicanos para cubrir sus necesidades de cloruro de vinilo, obligó a los fabricantes a la ampliación de sus instalaciones para no verse superados por la demanda.

El cloro, importante materia prima de la industria química actual, se produce por el método de las celdas de diafragma o de las celdas de mercurio.

Existen otros métodos para su fabricación, pero los dos anteriormente mencionados son los mas importantes, desde el punto de vista industrial.)

En la fabricación de cloro, tanto en las celdas, de-

diafragma como en las de mercurio, se utiliza como materia prima un cloruro alcalino; por consiguiente, su producción se ve acompañada del hidróxido alcalino como coproducto.

En México, todas las compañías que producen cloro lo hacen por el método de las celdas electrolíticas de mercurio, utilizándose en todas ellas el cloruro de sodio como materia prima, siendo por tanto, hidróxido de sodio el coproducto obtenido.

Consecuentemente, los fabricantes al ampliar sus instalaciones para nivelar la demanda de cloro, encuentran -- que la capacidad de producción de hidróxido de sodio, ha aumentado proporcionalmente al aumento de cloro, que además será mayor que la que necesita el mercado nacional.

Esta situación propicia que los fabricantes de estas importantes materias primas, busquen otro hidróxido alcali no que permita cumplir con la demanda de cloro exigida, -- desviando una o más celdas para su fabricación, sin descuidar la producción de sosa cáustica.

El hidróxido alcalino mas viable de ser producido, -- en las celdas que puedan ser desviadas en la fábrica, es -- el de potasio, ya que es el que sigue en importancia comercial.

(OBJETIVO) DE LA TESIS.

En México, algunas compañías han intentado fabricar el hidróxido de potasio sin llegar a un resultado concreto, debido principalmente a que la demanda de sosa cáustica no les ha permitido distraer las celdas necesarias que hagan posible su producción.

Sin embargo, la situación creada por la fuerte demanda de cloro, concede a los fabricantes la oportunidad de producirlo aprovechando sus instalaciones. Además, se debe tomar en cuenta que la potasa es el hidróxido alcalino que sigue en importancia a la sosa cáustica.

Por consiguiente, el objetivo de este trabajo, consiste en realizar un estudio técnico económico que permita evaluar la posibilidad de fabricar hidróxido de potasio en México, utilizando una o mas celdas del proceso de una planta que opere en la fabricación de cloro-sosa, con el objeto de emplear sus instalaciones para producirlo.

Aprovechando las fábricas existentes, solo se tendría que realizar algunas modificaciones que permitan la fabricación simultánea de ambos hidróxidos.

Como se indicó anteriormente, en México, todas las fábricas que se encuentran en posibilidades de hacerlo dis

ponen de celdas electrolíticas de mercurio, por lo que este estudio se basará en una fábrica que tenga estas características.

La gran similitud en los procesos de obtención del hidróxido de sodio y de potasio, por el método de las celdas electrolíticas de mercurio, permite la alternativa de aumentar o disminuir el número de celdas empleadas en uno o en otro proceso, según se presenten las necesidades de producción de hidróxido de sodio o de potasio.

La fabricación de hidróxido de potasio, al aprovechar las instalaciones existentes para sosa cáustica, proporcionará un ahorro considerable tanto en tecnología como en equipo, pues se debe considerar que prácticamente los procesos solo difieren en el uso de la materia prima. El cloruro de sodio produce sosa-cloro; el de potasio forma potasa-cloro.

También, al lograr la fabricación de hidróxido de potasio, proyecto que ya ha estado en la mente de muchos fabricantes, se sustituye, la importación de este producto por una producción nacional que tendrá las mismas características de calidad, pureza y presentación que la importada. Tomando estas ventajas y otras que se presentarán en otros capítulos, se verá que es factible la producción-

nacional.

MERCADO NACIONAL DE HIDROXIDO DE POTASIO.

Una de las principales fuentes de información está representada por los importadores de hidróxido de potasio. Estos, generalmente trabajan con altos inventarios, cuando se trata de productos importados, para no verse en una situación crítica al faltarles el producto por algún problema, ya sea del fabricante extranjero, de aduana, de transporte o debido a fluctuaciones del mercado; haciendo difícil la determinación de este.

Por consiguiente, es muy probable que una vez que exista la fabricación nacional de hidróxido de potasio, el mercado opere una contracción, ya que en estas condiciones el inventario de los consumidores dejará de ser importante.

Sin embargo, para la determinación del mercado, se cuenta con datos proporcionados por el departamento de estadística de la Secretaría de Industria y Comercio (4). De esta fuente se obtuvieron las importaciones de hidróxido de potasio.

En la tabla 1-1, se detallan las importaciones de hidróxido de potasio, la fracción por la cual se está introduciendo al país y el porcentaje de aumento o disminución en relación con el año anterior.

T A B L A 1-1

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO.

AÑO	FRACCION ARANCELARIA	Kg	% AUMENTO DISMINUCION	\$
1957	500.27.11	238,000	---	764,114.00
1958	"	228,484	- 4.0	782,215.00
1959	"	204,975	-10.3	545,480.00
1960	"	380,831	85.8	869,836.00
1961	"	489,451	28.5	1,093,084.00
1962	"	541,582	10.6	1,129,748.00
1963	"	504,903	- 6.8	1,198,932.00
1964	"	721,192	42.8	1,635,644.00
1965	# 28.17.A.003	539,618	-25.2	1,382,019.00
1966	"	959,707	77.8	2,247,203.00
1967	"	1,063,525	10.8	2,588,588.00
1968	"	1,233,000	15.9	4,237,486.00
1969	"	777,303	-37.0	2,331,909.00
1970	"	822,812	5.8	2,244,564.00
1971	"	921,950	12.0	2,180,503.00
1972 **	"	1,432,692	53.2	3,872,100.00

La fracción arancelaria se cambió por el acuerdo celebrado en Bruselas.

** En 1972 los datos de la SIC. solo se tienen tabulados hasta el mes de agosto, por lo que para incorporarla a la-- tabla 1-1 se sacó un promedio y se proyectó a 12 meses.

Del cuadro anterior se observa que el promedio de --
 aumento de las importaciones en estos trece años, fué de --
 17.3%.

De la Asociación Nacional de la Industria Química --
 (1) se obtuvieron los permisos concedidos por la Secreta--
 ría de Industria y Comercio, en los años de 1968 y 1969.

A continuación se presenta la relación que indica --
 los permisos concedidos, para hidróxido de potasio en tone--
 ladas.

T A B L A 2-1

RELACION DE IMPORTADORES DE HIDROXIDO DE POTASIO.

COMPañIA IMPORTADORA	PERMISOS CONCE- DIDOS 1968 TON.	PERMISOS CONCE- DIDOS 1969 TON.
Hules Mexicanos S.A.	150	350
Industrias Químicas de- México S.A.	155	100
Solventes y Productos -- Químicos, S.A.	107	100
Materias Primas, S.A.	112	200
Proveedores Químicos -- Generales, S.A.	69	90
Productos Químicos Bási- cos, S.A. de C.V.	100	130
Gases Agamex, S.A.	51	30

COMPAÑIA IMPORTADORA	PERMISOS CONCE-	PERMISOS CONCE-
	DIDOS 1968	DIDOS 1969
	TON.	TON.
Productos Químicos - Mardupol, S.A.	50	40
Casa Holk, S.A.	50	20
*Almex, S.A.	11	20
Cámara Suárez, S.A.	20	20
Casa Molina Font, S.A.	16	10
Searle de México, S.A. de C.V.	6	10
Proveedora de Produc-- tos Químicos S.A.	38	-
Compañía Universal de - Industrias, S.A.	20	11
Química Foliar, S.A. de C.V.	24	15
Abastecedores Químicos, S.A.	-	10
Electrónica, S.A.	5	9
Compañía Comercial e Indus-- trial Sirob, S.A.	21	8
Química Farmacéutica Latina, S.A.	5	5
Argón de Monterrey, S.A.	-	4
Técnica Química, S.A.	5	-
Centro Químico, S.A.	10	-
Ingeniería Termo-industrial, S.A.	12	10
Electrodos Commonwealth, S.A.	3	-

COMPAÑIA IMPORTADORA	PERMISOS CONCE-	PERMISOS CONCE-
	DIDOS 1968 TON.	DIDOS 1969 TON.
Comercial Cazar, S.A.	10	-
El Trébol Productos -- Químicos, S.A.	11	-
Esencias y Materias -- Primas, S.A.	25	-
Química Moderna, S.A.	6	5
Varios	<u>155</u>	<u>36</u>
TOTAL	1,247	1,233

* Se funcionó con Udyllite Mexicana S.A. y ambos tomaron el nombre de Oxymex, S.A. razón social con la que operan actualmente.

Analizando la tabla anterior, se encuentra que el mercado del hidróxido de potasio está en un 60% en manos de distribuidores y solo el 40% en consumidores directos.

Entre los consumidores directos, tres son los más importantes, siendo estos:

Hules Mexicanos S.A.

Industrias Químicas de México S.A.

Cases Agamex S.A.

Hules Mexicanos, utiliza el hidróxido de potasio en la fabricación del hule sintético durante el proceso de -

coagulación.

La demanda del hidróxido de potasio en la industria del hule sintético, es incierta, pues se espera que se sustituya este producto por hidróxido de sodio.

Esta sustitución, se prevee, ya que los resultados obtenidos de las pruebas realizadas, usando el hidróxido de sodio, por el de potasio, en el proceso de coagulación del hule sintético, han sido satisfactorias. Además, su costo es inferior.

Consecuentemente, Hules Mexicanos, S.A. el más fuerte importador de hidróxido de potasio, dejará de serlo por las causas expuestas en el párrafo anterior, para convertirse en un consumidor mas de sosa cáustica.

No obstante, no se descarta la posibilidad de que en un futuro, esta compañía, regrese al uso del hidróxido de potasio, ya que en los últimos años, la sosa cáustica ha sufrido grandes aumentos en el precio, y de seguir a este paso, la ventaja que tiene puede desaparecer.

Industrias Químicas de México, S.A. utiliza el hidróxido de potasio en la fabricación de Xantatos. Estiman tener un crecimiento de un 15% en los próximos 5 años, ya que están empezando a exportar estos productos.

Aún se desconoce la potencialidad del mercado de ex-

portación de los Xantatos, por lo que es muy probable que el crecimiento sea mayor que el porcentaje calculado.

Gases Agamex, S.A. usa el hidróxido de potasio como agente secador en la fabricación de Oxígeno y de otros gases. Consideran aumentar su consumo de hidróxido de potasio en un 10% anual.

Por lo que respecta al 60% del mercado de hidróxido de potasio, que como ya se indicó anteriormente, está en manos de distribuidores, es sumamente difícil determinar a donde llega y a que uso se destina, pues a los distribuidores solo les interesa vender, sin interesarles que uso tiene ni cual es su proyección al futuro; no solamente del hidróxido de potasio, sino de cualquier producto que maneja, pues, su negocio, es el de aprovechar las situaciones favorables que se presentan dentro del mercado de la industria química nacional respecto a las demandas de los productos. Además, la mayoría de ellos no cuenta con la suficiente capacidad económica para tener un departamento que se dedique a la investigación de mercado, no obstante, de las entrevistas realizadas con ellos se obtuvo una lista de cuales son los usos mas comunes del hidróxido de potasio; siendo estos:

Fabricación de jabones neutros y líquidos

estadística de la Secretaría de Industria y Comercio, es mayor que los otros porque, en el entran todos los importadores así como las presentaciones del mismo producto, que son trozos y escamas.

Por consiguiente, el primer promedio tiene que ser mayor que los demás. Por ejemplo, Hules Mexicanos, el principal consumidor directo, importa el hidróxido de potasio en trozos, que es la presentación de menor precio, además de manejar grandes volúmenes, por lo que su precio es el menor de todos los importadores.

De los precios antes mencionados, para el hidróxido de potasio, es necesario agregarle el costo del derecho mexicano de importación, que es:

$$0.05 \text{ \$/kg B} + 0.07 \% \text{ Ad Valorem}$$

Tomando como base un promedio de \$ 3,000/ Ton, entonces el costo que habría que agregarle al hidróxido de potasio de derechos para traer una tonelada, sería:

$$1000, \text{ kg} \times 0.05 \text{ \$/kg} + 0.07\% \times \$3,000.00$$

Por consiguiente, el costo por derechos de importación sería de \$ 260.00 para traer una tonelada.

PRESENTACIONES DEL HIDROXIDO DE POTASIO.

Las presentaciones que se conocen del hidróxido de pota

sio, son:

Hidróxido de potasio en escamas: Tambores de fierro-
de 150 kg.

Bolsas de polietileno de 50 kg.

Hidróxido de potasio en trozos: Tambores de fierro-
de 400 kg.

Según una encuesta realizada entre los usuarios y distribuidores de hidróxido de potasio, se concluyó, que la presentación que tiene mayor aceptación es la bolsa de polietileno de 50 kg, por su fácil manejo, a diferencia de los tambores de fierro que siempre requieren dos operarios para moverlos.

MARCADO INTERNACIONAL DE HIDROXIDO DE POTASIO.

México, cuenta en la actualidad con el Instituto Mexicano del Comercio Exterior, para orientar a los industriales sobre los mecanismos que hay que seguir para lograr las exportaciones, pero aún no cuenta con la información adecuada sobre estos mercados.

El monto de las importaciones de hidróxido de potasio, en los países sudamericanos, se obtuvo de la División Internacional del Grupo Químico Cydsa, (17), mismos que se encuentran tabulados en la Tabla 3-1.

En la Tabla 3-1, se detallan las importaciones en --

toneladas así como su precio en dolares.

T A B L A 3-1

PAISES SUDAMERICANOS QUE IMPORTAN HIDROXIDO DE POTASIO

PAIS	TONELADAS DE KOH	PRECIO EN DOLARES
Argentina	561	115,422.00
Brasil	795	170,000.00
Colombia	78	25,000.00
Ecuador	8	3,600.00
Chile	91	25,500.00
Perú	24	8,870.00
Uruguay	80	19,800.00
Venezuela	<u>94</u>	<u>27,900.00</u>
TOTAL	1,731	395,992.00
México	1,200	

De la tabla anterior se obtuvo el precio promedio -
de compra de los países Sudamericanos, el cual fué de:

Precio promedio de compra \$ 2,860.00/Ton.

Estos precios son puestos en frontera.

C A P I T U L O I I

MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO.

GENERALIDADES.

Una parte importante para la determinación de la capacidad de la planta, es el conocimiento del mercado de hidróxido de potasio. Este conocimiento, permitirá una planeación adecuada de la producción, que ayudará a programar el tiempo que las celdas deberán trabajar en la fabricación de hidróxido de potasio o de sodio; además, de la realización de un pronóstico de ventas.

Los mercados de los productos químicos y en general-cualquiera, es dinámico, por lo que la perspectiva de que ocurran cambios relativamente constantes es casi segura. Algunos cambios son causados, por ejemplo, debido a la acción de los competidores.

Una forma adecuada de interpretar la demanda del mercado, puede realizarse a través del análisis de la demanda de cada cliente, haciendo una clasificación de ellos.

En la tabla 2-1, del capítulo 1, están los nombres de los importadores del hidróxido de potasio, así como los permisos concedidos durante los años 68 y 69.

Estos pueden clasificarse en los siguientes grupos:

T A B L A 1-2

CLASIFICACION DE LOS IMPORTADORES DE HIDROXIDO DE POTASIO

GRUPOS	% DE PARTICIPACION EN 1968	% DE PARTICIPACION EN 1969
Industria hulera	12.0	28.6
Productos químicos	13.6	8.2
Fabricación de gases	4.2	2.4
Industria farmacéutica	5.2	3.3
Distribuidores	<u>65.0</u>	<u>57.0</u>
TOTAL	100.0	100.0

En 1968, los permisos concedidos para la importación de hidróxido de potasio fueron por 1,247 Ton y en 1969, por 1,233 Ton.

De las entrevistas realizadas con los importadores, solamente Hules Mexicanos S.A., dejará de consumir el hidróxido de potasio. Los permisos concedidos a esta compañía, representaron un 12.0% en 1968 y un 28.6% en 1969, del total de estos. La causa de que exista una diferencia grande en cuanto a los permisos concedidos en esos años, se debió a una escasez de hidróxido de potasio en el mercado internacional, por lo que se vieron obligados a solicitar una cantidad mayor a su consumo promedio; además, las toneladas concedidas por la Secretaría de Industria y Comercio, son independientes de la cantidad realmente importada, puesto que puede suceder que una compañía que solici

tó uno, no haya hecho uso de él.

Por consiguiente, si el mercado nacional de hidróxido de potasio es actualmente de 1,400 Ton/año, solamente se verá reducido en un 12%, que representa la participación de la industria hulera; por lo cual el mercado real promedio es de 1,230 Ton/año.

En el capítulo 1, también se explicaron las razones por las cuales la industria hulera dejará de consumir el hidróxido de potasio.

En la tabla 2-1 del capítulo 1, se observa que los permisos concedidos, para importar hidróxido de potasio, en los años de 1968 y 1969 fueron por una cantidad semejante; pero, lo realmente importado en el año de 1969 fué por una cantidad menor, ver tabla 1-1 del capítulo 1, esto se debió a una escasez en el mercado internacional, que ya fué superada en el año de 1972.

Esta escasez explica que el crecimiento del mercado de hidróxido de potasio, no solo se vea detenido sino que haga que disminuya aparentemente.

PROYECCION DE VENTAS.

Una vez conocida la capacidad del mercado, es importante calcular, la proyección de éste, con el objeto de

programar adecuadamente la fabricación de hidróxido de sodio y de potasio, según los requerimientos de estos productos en la industria nacional e internacional; además, ayudará a la determinación de las dimensiones del equipo.

Las importaciones de hidróxido de potasio, dato obtenido del departamento de Estadística de la Secretaría de Industria y Comercio (4), son necesarias para la determinación de la proyección de ventas. Esta proyección se realizó por tres diferentes caminos.

1.- REGRESION LINEAL SIMPLE (9) (11)

La regresión lineal permite encontrar la curva que relacione mejor las variables que afectan el mercado de hidróxido de potasio.

La curva obtenida al graficar las importaciones (gráfica 1-2), se ajusta a una recta.

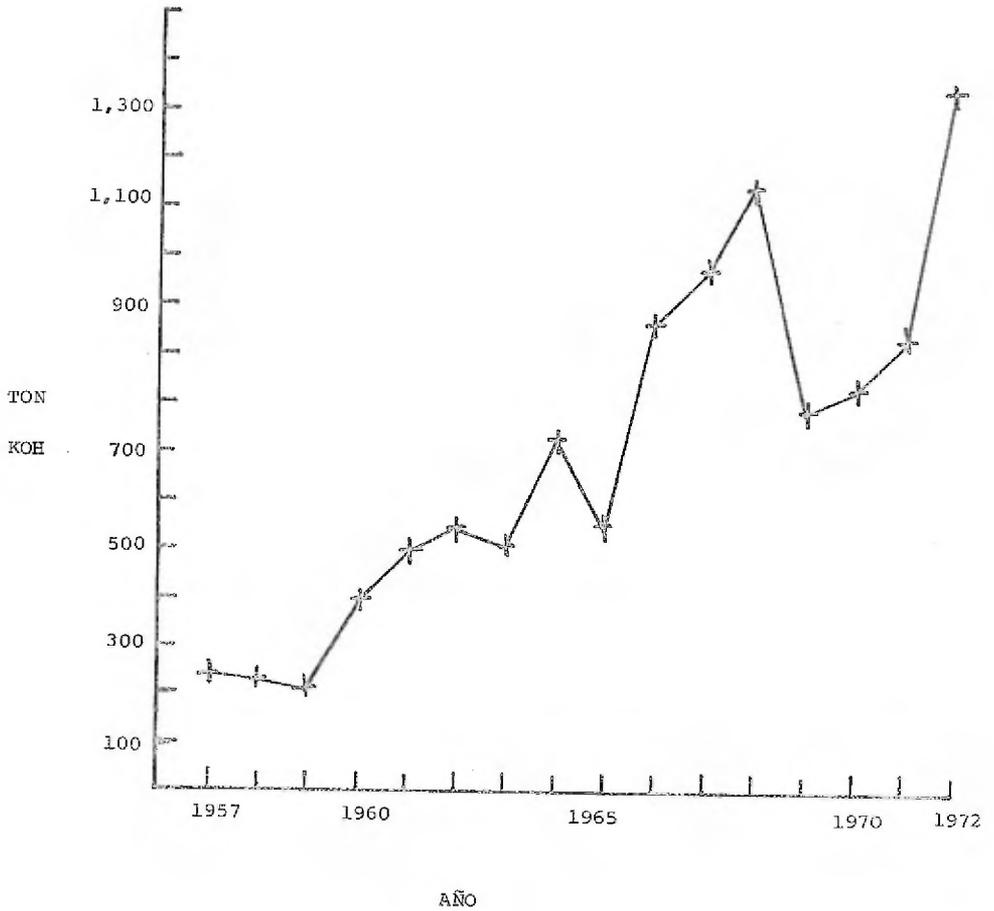
La ecuación de la recta es:

$$\hat{Y} = \alpha + \beta X$$

Para encontrar los valores de \hat{Y} , que representa la capacidad del mercado de hidróxido de potasio, para los diferentes años, según la curva ajustada, es necesario encontrar el valor de los parámetros α y β .

GRAFICA 1-2

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO



T A B L A 2-2

ARREGLO DE DATOS DE LAS IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO PARA EL CALCULO DE LA REGRESION LINEAL SIMPLE.

AÑO	TONELADAS DE KOH			
X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i Y_i$
1957- 1	238	1	56,644	238
1958- 2	228	4	51,984	456
1959- 3	205	9	42,025	615
1960- 4	381	16	145,161	1,524
1961- 5	489	25	239,121	2,445
1962- 6	542	36	293,764	3,252
1963- 7	505	49	255,025	3,535
1964- 8	721	64	519,841	5,768
1965- 9	540	81	291,600	4,860
1966- 10	960	100	921,600	9,600
1967- 11	1,064	121	1,132,096	11,704
1968- 12	1,232	144	1,517,824	14,784
1969- 13	777	169	603,729	10,101
1970- 14	823	196	677,329	11,522
1971- 15	922	225	850,084	13,830
<u>1972- 16</u>	<u>1,433 #</u>	<u>256</u>	<u>2,053,489</u>	<u>22,928</u>
136	11,060	1,496	9,961,316	117,162

Sustituyendo los valores encontrados en la tabla 2-2 en las ecuaciones, se obtienen los valores de \hat{Q} y \hat{P}

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{N \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$\hat{\beta} = \frac{N \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{N \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1,496 \times 11,060 - 136 \times 117,162}{16 \times 1,496 - 18,496} = 112.45$$

$$\hat{\beta} = \frac{16 \times 117,162 - 136 \times 11,060}{16 \times 1,496 - 18,496} = 68.10$$

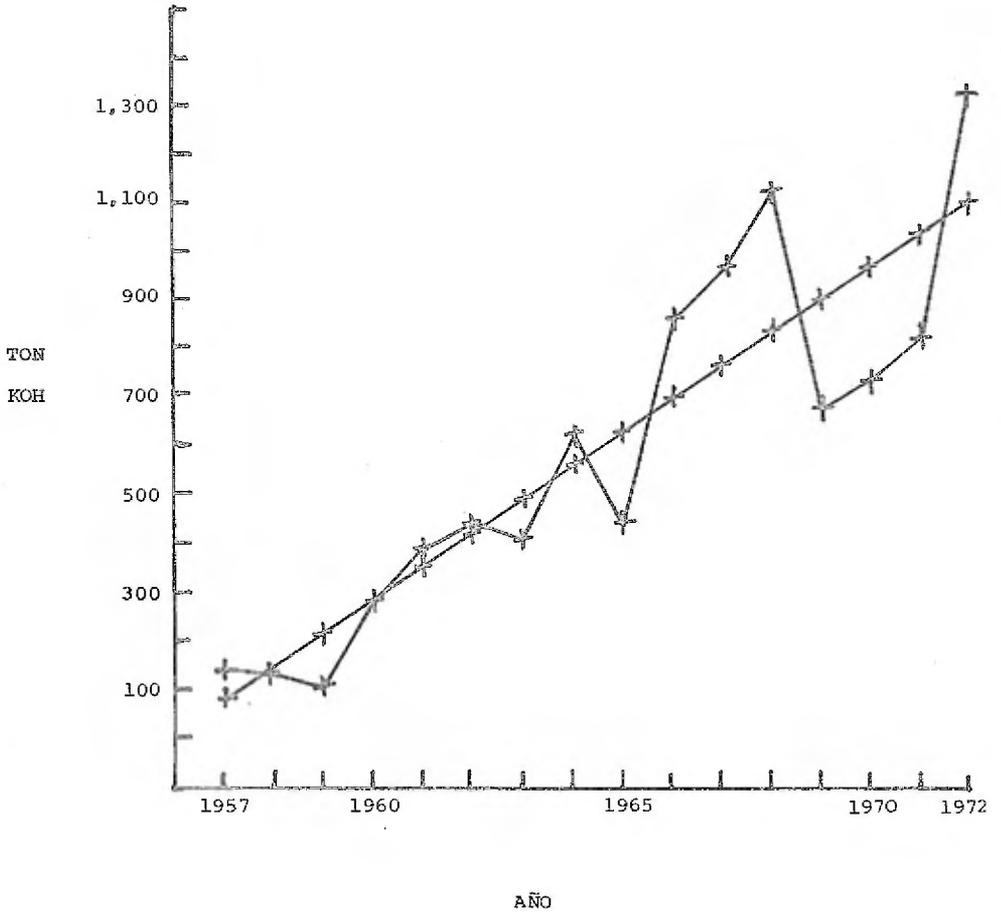
Estos valores son sustituidos en la ecuación de regresión; quedando esta representada por:

$$\hat{Y}_i = 112.45 + 68.10X_i$$

Sustituyendo por sus valores a X_i se obtiene el valor de \hat{Y}_i que representará la capacidad del mercado según la curva ajustada (gráfica 2-2).

GRAFICA 2-2

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO Y CURVA AJUSTADA
POR EL METODO DE REGRESION LINEAL SIMPLE.



T A B L A 3-2

CAPACIDAD DEL MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO A PARTIR DE--
DE LA CURVA AJUSTADA.

AÑO	TONELADAS DE KOH	AÑO	TONELADAS DE -- KOH
1	181	9	735
2	249	10	793
3	317	11	862
4	385	12	930
5	453	13	998
6	521	14	1,066
7	589	15	1,134
8	657	16	1,202

Para determinar la confiabilidad de la curva de re--
gresión ajustada, y poder proyectarla a cinco años, se ha--
rán tres pruebas:

a).- COEFICIENTE DE CORRELACION.

El coeficiente de correlación mide el grado de aso--
ciación existente entre las variables; por lo que sus valo--
res estarán entre 0 y 1. Cuando el valor es cercano a 1,--
indica una buena correlación entre variables, no así cuan--
do este valor tiende a cero.

T A B L A 4-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACION.

X_i Año	$X_i - \bar{X}_i$	$(X_i - \bar{X}_i)^2$	Y_i	$Y_i - \bar{Y}_i$	$(Y_i - \bar{Y}_i)^2$
1	- 7.5	56.25	238	-453	205,209
2	- 6.5	42.25	228	-463	214,369
3	- 5.5	30.25	205	-486	236,196
4	- 4.5	20.25	381	-310	96,100
5	- 3.5	12.25	489	-202	40,804
6	- 2.5	6.25	542	-149	22,201
7	- 1.5	2.25	505	-186	34,596
8	- .5	.25	721	- 30	900
9	.5	.25	540	-151	22,801
10	1.5	2.25	960	269	72,361
11	2.5	6.25	1,064	373	139,129
12	3.5	12.25	1,232	541	292,681
13	4.5	20.25	777	86	7,396
14	5.5	30.25	823	132	17,424
15	6.5	42.25	922	231	53,361
16	7.5	56.25	1,433	742	550,564
TOTAL		<u>340</u>			<u>2,006,092</u>

$$\hat{r} = \hat{\rho} \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2}}$$

Sustituyendo en la ecuación, los valores de la tabla 4-2, se obtiene el valor de coeficiente de correlación.

$$\hat{r} = 68.10 \sqrt{\frac{340}{2,006,092}} = 0.88$$

Este resultado indica que la correlación existente es buena, por lo que según la prueba, es confiable la curva de regresión obtenida.

b).- ANALISIS DE AUTOCORRELACION DE ERRORES.

El análisis de autocorrelación de errores, se basa en el estudio de Durbin y Watson, que consiste en determinar la medida en que un error es función de otro error.

$$E_i = f(E_{i-1})$$

$$E_i = \hat{r}_i + \hat{\rho}_a E_{i-1}$$

Si $\hat{\rho}_a \rightarrow 0$, entonces $E_i = \hat{r}_i$, esto quiere decir que los errores se comportan bien.

$$\hat{\rho}_a = 1 - \frac{D}{2}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

El valor de ρ_a debe ser menor de 0.5, para que la autocorrelación de errores no sea significativa en la curva de regresión ajustada.

T A B L A 5-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DE LA PRUEBA PARA AUTOCORRELACION DE ERRORES.

X_i	Y_i	\hat{Y}_i	$E_i = Y_i - \hat{Y}_i$	$E_i - E_{i-1}$	E_i^2	$(E_i - E_{i-1})^2$
1	238	181	57	-	3,249	-
2	228	249	- 21	78	441	6,084
3	205	317	-112	- 91	12,544	8,281
4	381	385	- 4	108	16	11,664
5	489	453	36	40	1,296	1,600
6	542	521	21	- 15	441	225
7	505	589	- 84	-105	7,056	11,025
8	721	657	64	148	4,096	21,904
9	540	725	-185	-249	34,225	62,001
10	960	793	167	352	27,889	123,904
11	1,064	862	202	35	40,804	1,225
12	1,232	930	302	100	91,204	10,000
13	777	998	-221	523	48,841	273,529
14	823	1,066	-243	- 22	59,049	484
15	922	1,134	-212	31	49,944	961
16	1,433	1,202	231	443	<u>53,361</u>	<u>196,249</u>
					429,456	729,136

Los valores obtenidos en la tabla 5-2, se substituyen en las ecuaciones, quedando estas:

$$\sum_{i=1}^n E_i^2 = 429,456$$

$$\sum_{i=1}^n (E_i - E_{i-1})^2 = 729,136$$

$$D = \frac{729,136}{429,456} = 1.7$$

$$\hat{p}_a = 1 - \frac{D}{2} = 1 - \frac{1.7}{2} = 0.15$$

El resultado obtenido en esta prueba indica que los errores estan bien comportados, por lo que estos no influyen significativamente a la recta de regresión.

c).- PROBABILIDAD MATEMATICA PARA LIMITES DE CONFIANZA.

La prueba de probabilidad matemática para límites de confianza, se basa, en el cálculo de una región dentro de la cual deberán caer los valores obtenidos de la recta de regresión para que esta sea aceptada.

$$\sigma^2 \hat{Y}_i = \sigma^2 E_i \left[\frac{1}{N} + \frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \right]$$

$$\sigma^2 E_i = \frac{1}{N-2} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 - \hat{\beta}^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 \right]$$

$$E_i(\hat{Y}_i) = \hat{Y}_i \pm \sigma^t \hat{Y}_i$$

TABLA 6-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DE LIMITES DE CONFIANZA.

X_i	$2\hat{Y}_i$	\hat{Y}_i	$t \hat{Y}_i$	$E(\hat{Y}_i)_{\max}$	$E(\hat{Y}_i)_{\min}$
1	6,944	83	178	359	3
2	5,689	75	161	410	98
3	4,613	67	144	461	173
4	4,717	60	129	514	256
5	3,001	54	116	569	337
6	2,462	49	105	626	407
7	2,106	45	96	685	493
8	1,926	43	92	749	565
9	1,926	43	92	817	633
10	2,106	45	96	889	697
11	2,462	49	105	967	757
12	3,001	54	116	1,046	814
13	3,717	60	129	1,127	869
14	4,613	67	144	1,210	922
15	5,689	75	161	1,295	973
16	6,944	83	178	1,380	1,024

t = Distribución acumulativa

t = 2.145

La gráfica 3-2, muestra que los puntos de la prueba-ajustada caen dentro de los límites marcados por los límites de confianza.

El resultado que se obtuvo en cada una de las tres--pruebas anteriores determinan que la curva ajustada por el método de regresión lineal simple, es confiable y por consiguiente esta se puede proyectar, con el objeto de tener un pronóstico de ventas a cinco años que represente la demanda mas probable de hidróxido de potasio.

2.- REGRESION LOGARITMICA.

Además de la regresión lineal simple, que es el modo mas usual para ajustar curvas, se dispone también, de otros modelos como, es el de la regresión logarítmica. Esta se basa en los mismos principios de la regresión lineal-simple, proporcionando, en los casos de mucha variancia, mayor suavidad en la curva, utilizando una gráfica semilogarítmica.

Ecuaciones:

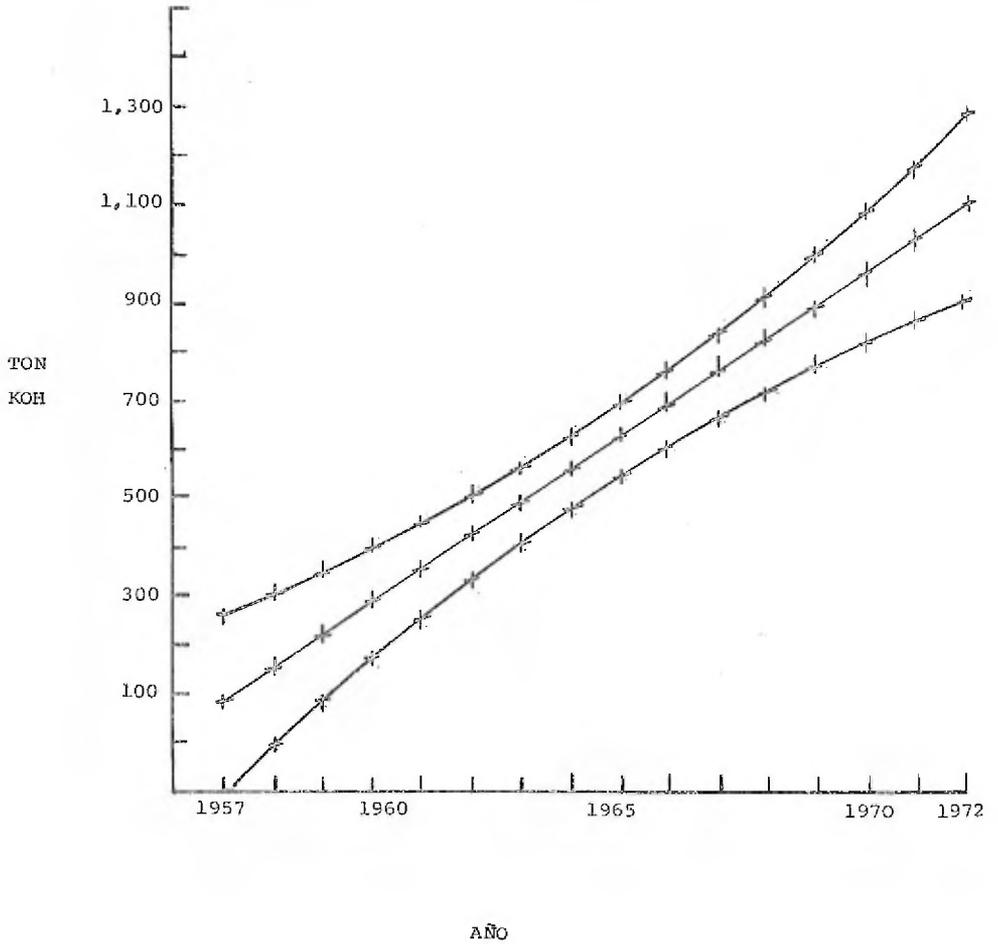
$$\log \hat{Y}_i = \hat{Y}'_i$$

$$\hat{Y}'_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i$$

$$\bar{Y}'_i = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } Y_i}{N}$$

GRAFICA 3-2

CURVA AJUSTADA Y LIMITES DE CONFIANZA



$$\hat{\beta} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i' - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i'}{N \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i' - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i'}{N \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}$$

(ver gráfica 4-2).

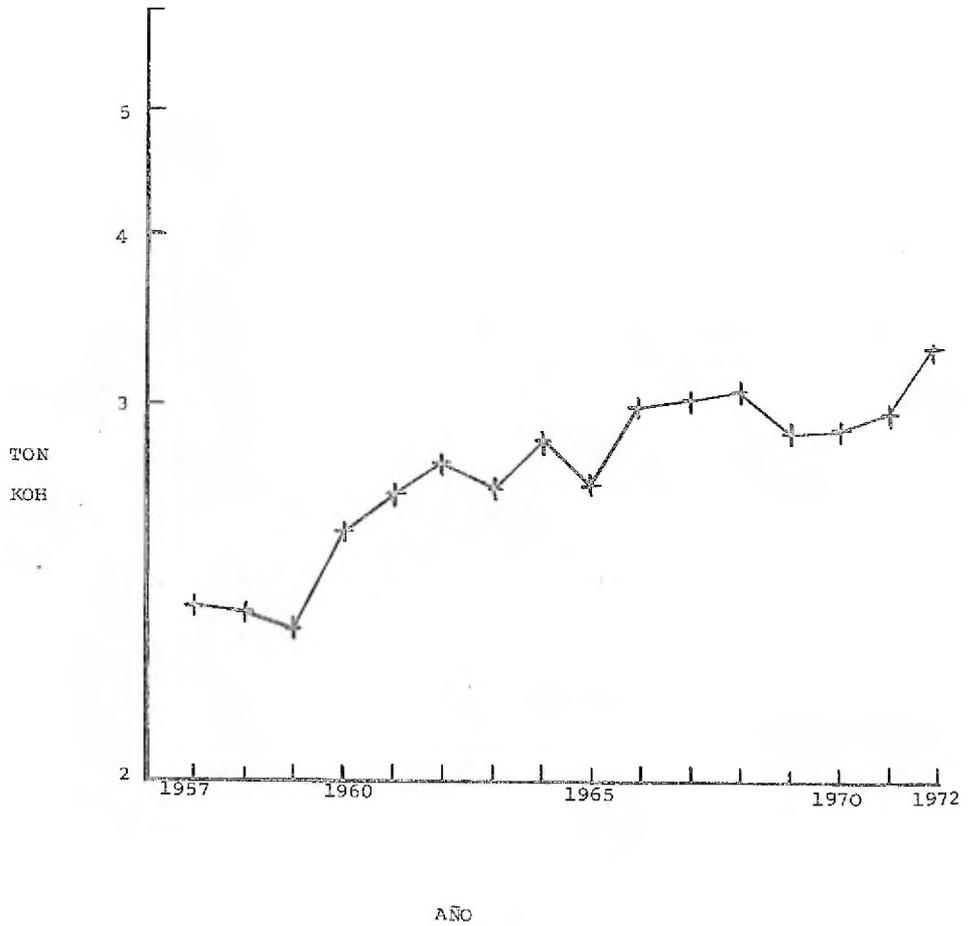
T A B L A 7-2

ARREGLO DE LAS IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO PARA-
EL CALCULO DE LA REGRESION LOGARITMICA.

X_i	Y_i	$Y_i' = \log Y_i$	$X_i Y_i'$	X_i^2	$(X_i - \bar{X}_i)^2$	$(Y_i' - \bar{Y}_i')^2$
1	238	2.3766	2.3766	1	56.25	0.1572
2	228	2.3579	4.7158	4	42.25	0.1723
3	205	2.3118	6.9354	9	30.25	0.2127
4	381	2.5809	10.3236	16	20.25	0.0369
5	489	2.6893	13.4465	25	12.25	0.0070
6	542	2.7840	16.4040	36	6.25	0.0015
7	505	2.7033	18.9231	49	2.25	0.0048
8	721	2.8579	22.8632	64	0.25	0.0071
9	540	2.7324	24.5916	81	0.25	0.0016
10	960	2.9823	29.8230	100	2.25	0.0437
11	1,064	3.0270	33.2970	121	6.25	0.0644
12	1,232	3.0906	37.0872	144	12.25	0.1008
13	777	2.8904	37.5752	169	20.25	0.0137
14	823	2.9154	40.8156	196	30.25	0.0202
15	922	2.9647	44.4705	225	42.25	0.0367
<u>16</u>	<u>1,433</u>	<u>3.1562</u>	<u>50.4992</u>	<u>256</u>	<u>56.25</u>	<u>0.1467</u>
136	11,060	44.3707	394.1871	1,496	340.00	1.0273

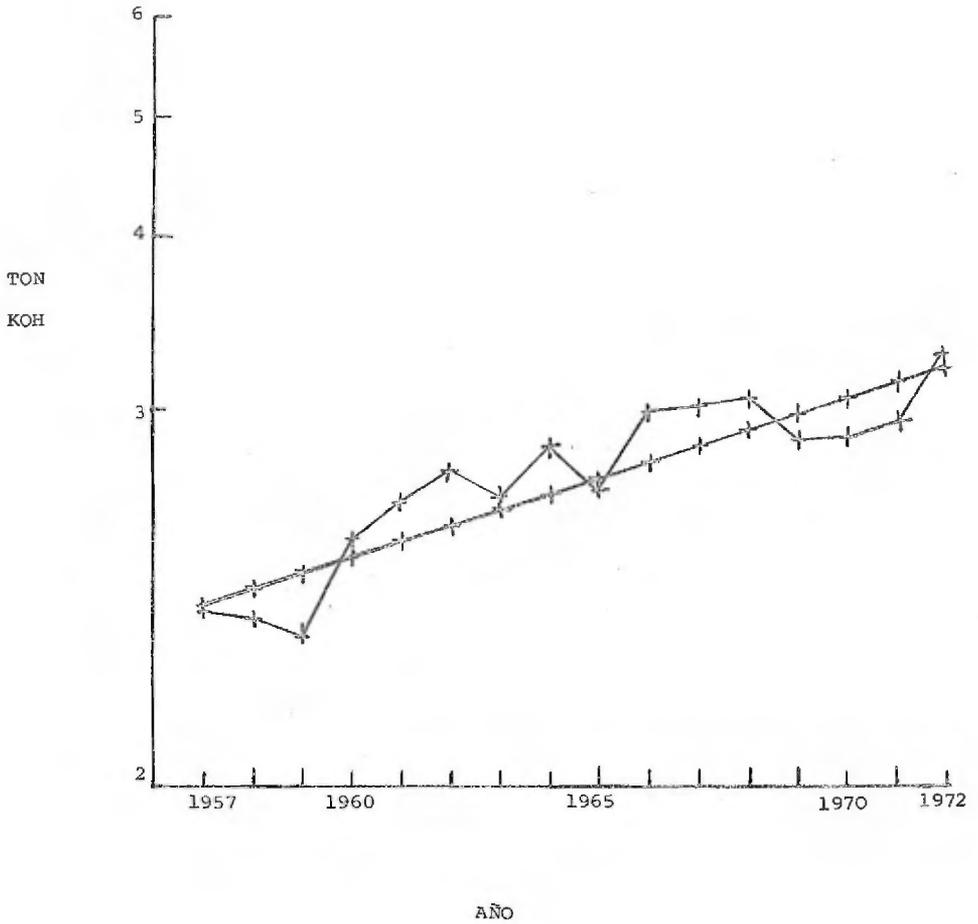
GRAFICA 4-2

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO



GRAFICA 5-2

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO Y CURVA -
AJUSTADA POR EL METODO DE REGRESION LOGARITMICA



$$\hat{\beta} = \frac{16 \times 394.1871 - 136 \times 44.3707}{16 \times 1,496 - (136)^2} = 0.0501$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1,496 \times 44.3707 - 136 \times 394.1871}{16 \times 1,496 - (136)^2} = 2.3472$$

Sustituyendo los valores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$, en la ecuación:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i$$

se obtiene el valor de \hat{Y}_i , que representa la capacidad del mercado de hidróxido de potasio según la nueva curva. (Ver gráfica 5-2).

T A B L A 8-2

MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO POR LA CURVA AJUSTADA

X_i	\hat{Y}_i		X_i	\hat{Y}_i	
AÑO	TONS DE KOH		AÑO	TONS DE KOH	
1	2.3973	250	9	2.7981	628
2	2.4474	280	10	2.8482	705
3	2.4975	315	11	2.8983	791
4	2.5476	353	12	2.9484	888
5	2.5977	396	13	2.9985	996
6	2.6478	444	14	3.0486	1,119
7	2.6979	499	15	3.0987	1,255
8	2.7480	560	16	3.1488	1,409

Para determinar la confiabilidad de la curva de regresión logarítmica, se efectuaron las siguientes tres --- pruebas.

a.- COEFICIENTE DE CORRELACION

$$\hat{\rho} = \beta \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_1)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i' - \bar{Y}_1')^2}}$$

$$\hat{\rho} = 0.0501 \sqrt{\frac{340}{1.0273}} = 0.9114$$

b.- ANALISIS DE AUTOCORRELACION DE ERRORES.

$$E_i = \eta_a + \hat{\rho}_a E_{i-1}$$

$$\hat{\rho}_a = 1 - \frac{D}{2}$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n E_i^2}$$

$$E_i = Y_i' - \hat{Y}_i'$$

T A B L A 9-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DE AUTOCORRELACION DE ERRORES.

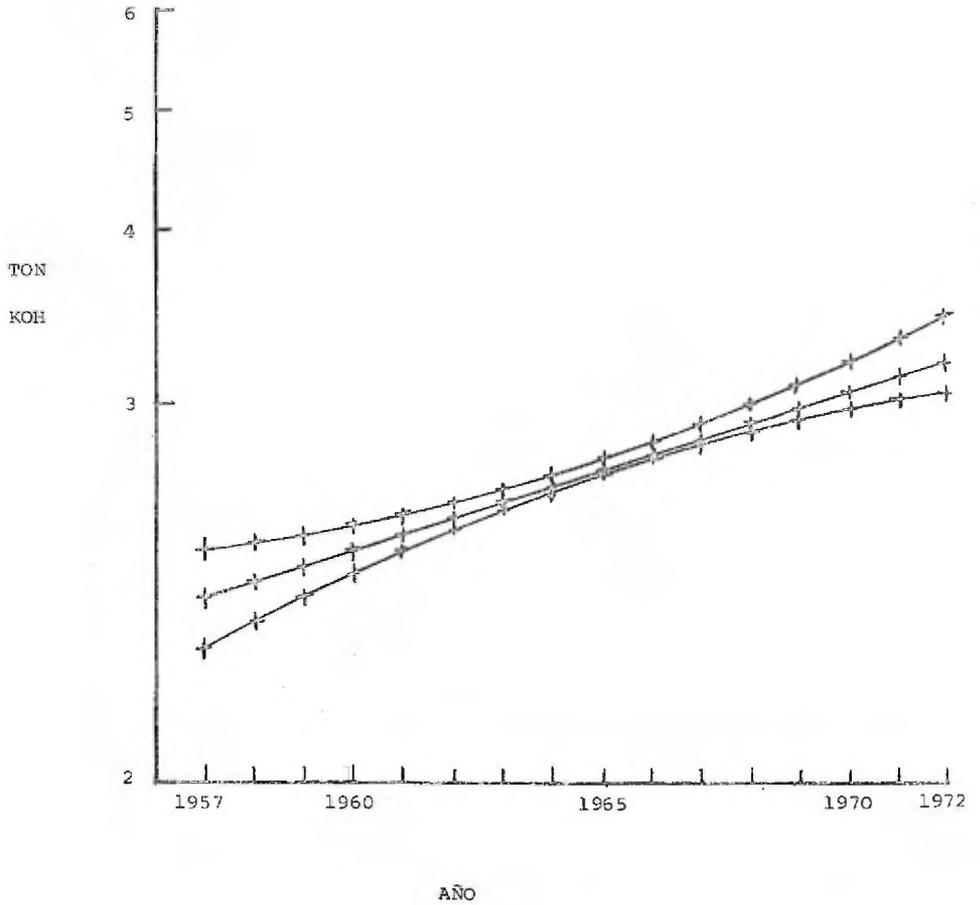
E_i	$E_i - E_{i-1}$	E_i^2	$(E_i - E_{i-1})^2$
-0.0207	--	0.0004	---
-0.0895	-0.0688	0.0080	0.0047
-0.1857	-0.0962	0.0344	0.0092
0.0333	0.2190	0.0011	0.0479
0.0916	0.0533	0.0023	0.0033
0.0862	-0.0054	0.0074	--
0.0054	0.0808	---	0.0065
0.1099	0.1045	0.0120	0.0109
-0.0657	-0.1756	0.0043	0.0308
0.1341	0.1998	0.0179	0.0399
0.1287	-0.0054	0.0165	--
0.1422	0.0135	0.0202	0.0001
-0.1081	-0.2503	0.0116	0.0626
-0.1332	-0.0251	0.0177	0.0006
-0.1340	-0.0008	0.0179	---
0.0074	0.1414	---	0.0199
		0.1777	0.2364

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - E_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n E_i^2} = \frac{0.2364}{0.1777} = 1.3303$$

$$\hat{\rho}_a = 1 - \frac{D}{2} = 1 - \frac{1.3303}{2} = 0.3349$$

GRAFICA 6-2

CURVA AJUSTADA Y LIMITES DE CONFIANZA



T A B L A 10-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DE LIMITES DE CONFIANZA

X_i	$\frac{2\hat{Y}_i}{i}$	\hat{Y}_i	$t\hat{Y}_i$	$E(\hat{Y}_i)_{\max}$	$E(\hat{Y}_i)_{\min}$
1	0.0029	0.0534	0.1145	2.5118	2.2828
2	0.0024	0.0490	0.1051	2.5525	2.3423
3	0.0019	0.0433	0.0928	2.5903	2.4047
4	0.0015	0.0384	0.0823	2.6299	2.4653
5	0.0012	0.0343	0.0735	2.6712	2.5242
6	0.0010	0.0313	0.0671	2.7149	2.5807
7	0.0009	0.0300	0.0643	2.7622	2.6336
8	0.0008	0.0283	0.0607	2.8087	2.6873
9	0.0008	0.0283	0.0607	2.8588	2.7374
10	0.0009	0.0300	0.0643	2.9125	2.7839
11	0.0010	0.0313	0.0671	2.9654	2.8312
12	0.0012	0.0343	0.0735	3.0219	2.8749
13	0.0015	0.0384	0.0823	3.0808	2.9162
14	0.0019	0.0433	0.0928	3.1414	2.9558
15	0.0024	0.0490	0.1051	3.2038	2.9936
16	0.0029	0.0534	0.1145	3.2633	3.0343

$$t = 2.145$$

c.- PROBABILIDAD MATEMATICA PARA LIMITES DE CONFIANZA.

$$\sigma_{E_i}^2 = \frac{1}{N-2} \left[\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 - \beta^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2 \right]$$

$$\sigma^2 \hat{Y}_i = \sigma_{E_i}^2 \left[\frac{1}{N} + \frac{(X_i - \bar{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \right]$$

$$E(\hat{Y}_i) = \hat{Y}_i \pm t \sigma \hat{Y}_i$$

REGRESION MULTIPLE. (8)

La regresión, es un modelo matemático para una ecuación cuadrática. Sus principios son los mismos que para la regresión lineal simple.

ECUACIONES:

$$\hat{Y}_i = \alpha + \beta X_i + \gamma X_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = N \alpha + \beta \sum_{i=1}^n X_i + \gamma \sum_{i=1}^n X_i^2$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = \alpha \sum_{i=1}^n X_i + \beta \sum_{i=1}^n X_i^2 + \gamma \sum_{i=1}^n X_i^3$$

$$\sum_{i=1}^n X_i^2 Y_i = \alpha \sum_{i=1}^n X_i^2 + \beta \sum_{i=1}^n X_i^3 + \gamma \sum_{i=1}^n X_i^4$$

T A B L A 11-2

ARREGLO DE DATOS PARA EL CALCULO DE LA CURVA DE REGRESION-MULTIPLE

X	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2	$X_i^2 Y_i$	X_i^3	X_i^4
1	238	238	1	238	1	1
2	228	456	4	912	8	16
3	205	615	9	1,845	27	81
4	381	1,524	16	6,096	64	256
5	489	2,445	25	12,225	125	625
6	542	3,252	36	19,512	216	1,296
7	505	3,535	49	24,745	343	2,401
8	721	5,768	64	46,144	512	4,096
9	540	4,860	81	43,740	729	6,561
10	960	9,600	100	96,000	1,000	10,000
11	1,064	11,704	121	128,744	1,331	14,641
12	1,232	14,784	144	177,408	1,728	20,736
13	777	10,101	169	131,313	2,197	28,561
14	823	11,522	196	161,308	2,744	38,416
15	922	13,830	225	207,450	3,375	56,025
<u>16</u>	<u>1,433</u>	<u>22,928</u>	<u>256</u>	<u>366,848</u>	<u>4,096</u>	<u>65,536</u>
136	11,060	117,162	1,496	1,424,528	18,496	249,248

Sustituyendo los valores obtenidos en la tabla 11-2, en las ecuaciones, se forma el siguiente sistema de ecuaciones.

SISTEMA DE ECUACIONES:

$$\begin{aligned}
 11,060 &= 16 \hat{Q} + 136 \hat{P} + 1,496 \hat{Y} \\
 117,162 &= 136 \hat{Q} + 1,496 \hat{P} + 18,496 \hat{Y} \\
 1,424,528 &= 1,496 \hat{Q} + 18,496 \hat{P} + 249,248 \hat{Y}
 \end{aligned}$$

El sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, de la regresión múltiple, se resolvió por determinantes. (8)

$$\hat{Q} = \frac{\begin{vmatrix} 11,060 & 136 & 1,496 \\ 117,162 & 1,496 & 18,496 \\ 1,424,528 & 18,496 & 249,248 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 16 & 136 & 1,496 \\ 136 & 1,496 & 18,496 \\ 1,496 & 18,496 & 249,248 \end{vmatrix}} = 97.92$$

El valor del denominador, como es el mismo para todos los determinantes, en adelante se denominará delta.

$$\hat{P} = \frac{\begin{vmatrix} 16 & 11,060 & 1,496 \\ 136 & 117,162 & 18,496 \\ 1,496 & 1,424,528 & 249,248 \end{vmatrix}}{\Delta} = 72.94$$

16	136	11,060
136	1,496	117,162
1,496	18,496	1,424,528

$$\hat{\gamma} = \frac{\Delta}{\Delta} = -0.28$$

Sustituyendo los valores de $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ y $\hat{\gamma}$, en la ecuación:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i + \hat{\gamma} X_i^2$$

Se obtiene el valor de \hat{Y}_i , que representa el mercado de hidróxido de potasio según la curva ajustada. (ver gráfica 7-2).

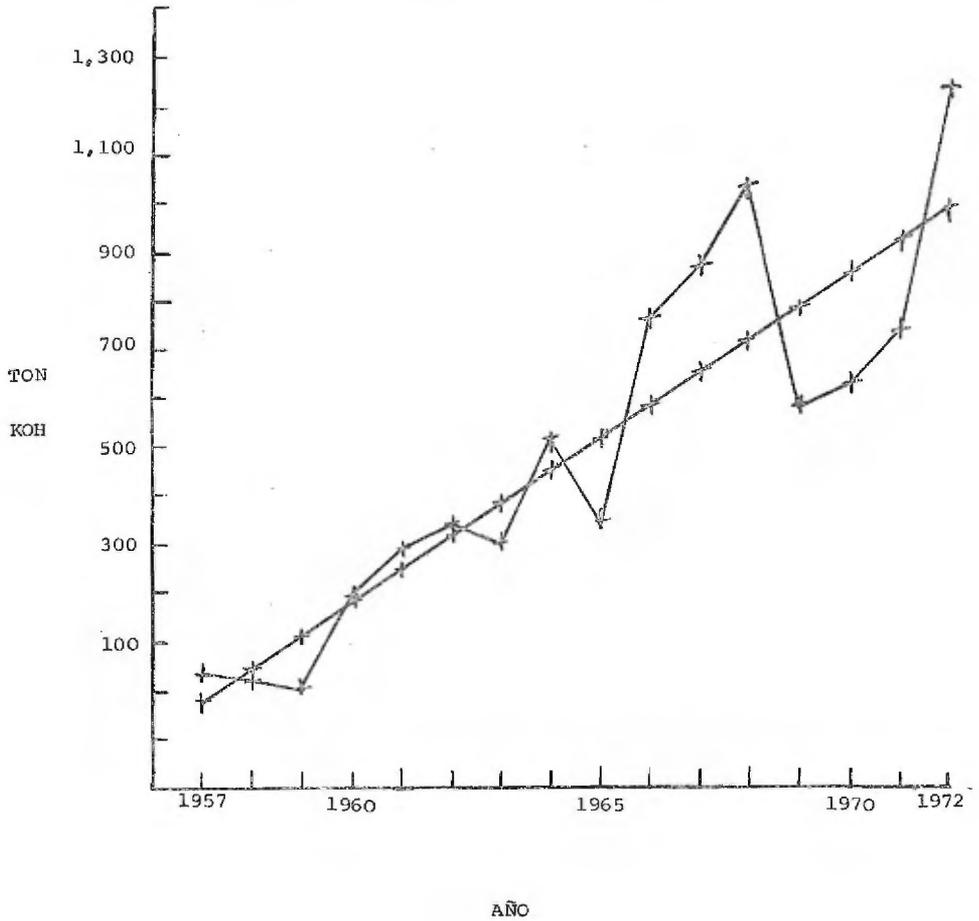
T A B L A 12-2

CAPACIDAD DEL MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO, A PARTIR DE LA CURVA AJUSTADA POR REGRESION MULTIPLE.

X_i	\hat{Y}_i	X_i	\hat{Y}_i
Año	Ton de KOH	Año	Ton de KOH
1	171	9	732
2	243	10	799
3	314	11	866
4	385	12	933
5	456	13	999
6	525	14	1,064
7	595	15	1,129
8	664	16	1,193

GRÁFICA 7-2

IMPORTACIONES DE HIDROXIDO DE POTASIO Y CURVA -
AJUSTADA POR EL METODO DE REGRESION MULTIPLE.



La curva que mas se ajusta al incremento real, es la que se obtuvo por la regresión logarítmica, por lo tanto ésta será la que se utilice para la proyección de ventas a -- cinco años.

T A B L A 13-2

PROYECCION DEL MERCADO DE HIDROXIDO DE POTASIO A CINCO ---- AÑOS.

AÑO	TON KOH
1973	1,581
1974	1,774
1975	1,992
1976	2,235
1977	2,508

Además del mercado nacional, cuya proyección ya fué calculada, se debe tomar en cuenta el mercado sudamericano, que en conjunto representa 1,731 Ton. En este mercado se puede participar por medio de la Asociación Latinoamericana de Libre Comercio (ALALC).

Consecuentemente, se dispone de un mercado entre México y los países de América del Sur, del orden de las --- 3,000 Ton, por año.

C A P I T U L O III
CAPACIDAD DE LA FABRICA.

Las celdas instaladas en la fábrica, para la producción de hidróxido de sodio, son del tipo De Nora (15), - con ánodos de grafito. Como todas son iguales, el cálculo de la capacidad de producción se hará, tomando como modelo una de ellas.

Las celdas estan trabajando a 200,000 amp. que representa el 90% de la capacidad instalada.

96,500 Coulombs (amp X seg), depositan un equivalente gramo de cualquier sustancia. Por consiguiente, 56g de hidróxido de potasio se depositarán con 96,500 coulombs.

Como la celda trabaja a 200,000 amp X seg, la capacidad de producción de una celda, será de: (3)

$$\begin{array}{r} 96,500 \text{ coulombs (amp X seg)} \text{ --- } 56 \text{ g de KOH} \\ 200,000 \text{ amp} \text{ ----- } X \text{ g de KOH} \\ X \text{ g de KOH} = \frac{56 \text{ g de KOH X } 200,000 \text{ amp}}{96,500 \text{ amp X seg}} = 116 \text{ g/seg KOH} \end{array}$$

que corresponden a:

$$116 \text{ g/seg de KOH X } 3600 \text{ seg/hr X kg/1,000 g} = 417 \text{ kg/hr}$$

$$417 \text{ kg/hr de KOH X } 24 \text{ hr/d} = 10,000 \text{ kg/d de KOH}$$

Como se dispone de una eficiencia de corriente de --- 95%, la capacidad de producción corregida por ese factor -

será de:

$$0.95 \times 10,000 \text{ kg/d} \times \text{Ton}/1,000 \text{ kg} = 9.5 \text{ Ton/d de KOH}$$

por lo que la producción anual de la celda es:

$$9.5 \text{ Ton/d de KOH} \times 320 \text{ d/año} = 3,040 \text{ Ton/año de KOH}$$

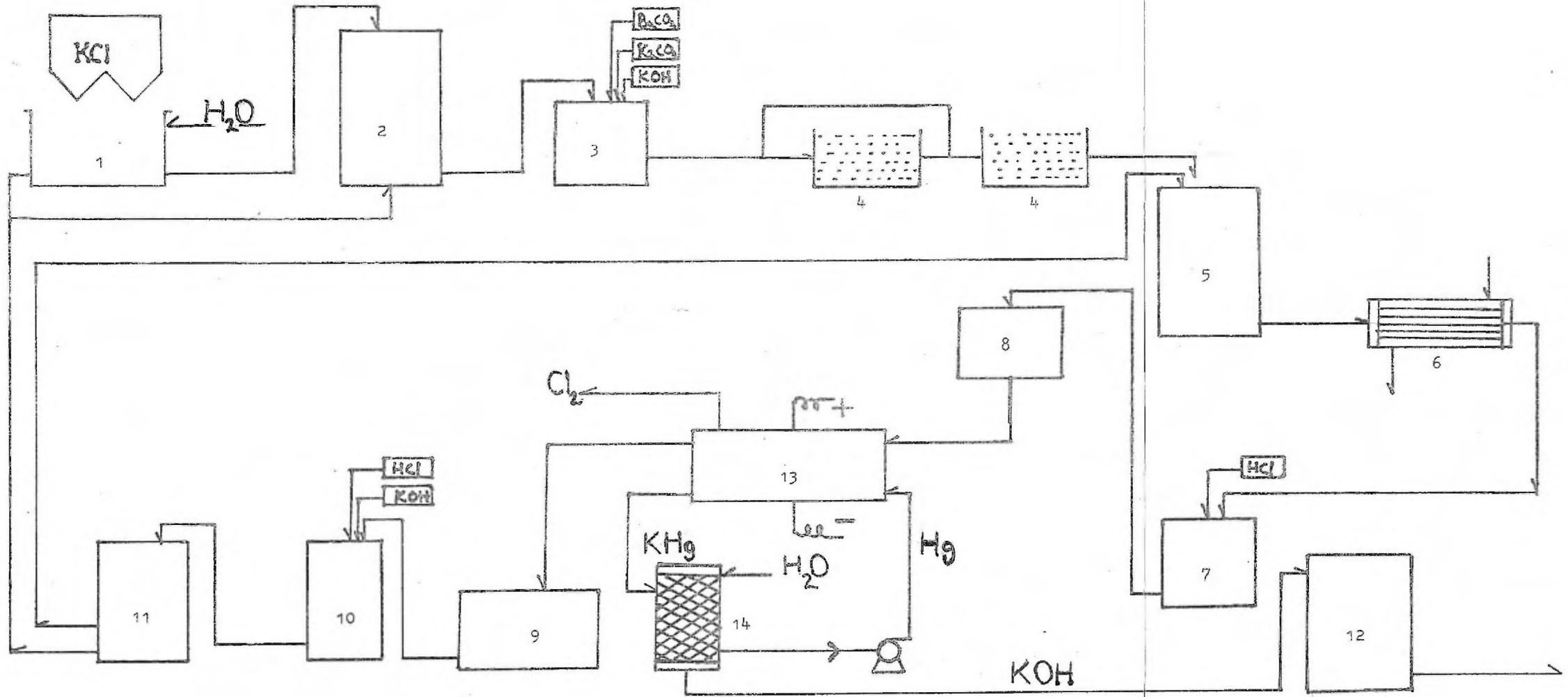
De acuerdo al convenio (ALALC), se puede abarcar el total del mercado de hidróxido de potasio en Latinoaméri--ca.

La curva de las importaciones de hidróxido de potasio, ajustada por el método de regresión logarítmica, muestra - que dentro de cinco años, la capacidad del mercado nacio--nal será de 2,508 Ton (ver tabla 13-2), si a este merca--do se le suma el Latinoamericano, que es de 1,731 Ton, y - suponiendo que sus importaciones permanezcan constantes -- hasta 1977, se tendrá una demanda de 4,239 Ton.

Por consiguiente, la capacidad de hidróxido de pota--sio por instalar, será la producción de una celda que es - de 3,040 Ton.

DESCRIPCION DEL PROCESO.

El proceso para fabricar hidróxido de potasio a par--tir de una solución de cloruro de potasio en una celda ---electrolítica de mercurio, se basa en las siguientes opera--ciones; que son presentadas en el diagrama gráfico de flu-



- 1.- Tanque de magma y tolva
- 2.- Saturador
- 3.- Reactor
- 4.- Filtros de arena
- 5.- Tanque de salmuera tratada
- 6.- Cambiador de calor
- 7.- Tanque para salmuera enfriada y tratada

- 8.- Tanque de nivel constante
- 9.- Tanque de salmuera agotada
- 10.- Desclorador
- 11.- Tanque de salmuera libre de cloro
- 12.- Almacén de hidróxido de potasio
- 13.- Celda electrolítica de mercurio
- 14.- Desamalgamador.

jo 1-3.

Operaciones para la fabricación de hidróxido de potasio:

1.- Preparación de la salmuera.

El cloruro de potasio, se descarga mediante una tolva a un tanque, donde con la salmuera agotada y desclorada se forma un magma.

El cloruro de potasio, se traerá a granel de Estados Unidos o de Alemania, principales productores. En el subsuelo de México existen yacimientos de cloruro de potasio pero de muy bajo contenido, como el caso de Rosarito Baja California y de Tancamichapa Veracruz (14).

El magma formado, es alimentado por la parte superior de un saturador, mientras que por el fondo también se hace llegar salmuera agotada y desclorada, facilitando con esta operación la saturación de la salmuera.

La salmuera por derrame es enviada a un reactor para su purificación.

Esta parte, en la preparación de la salmuera es importante ya que se eliminarán las impurezas que pueden afectar el buen funcionamiento de la celda.

Las principales impurezas que deben ser eliminadas de la salmuera son: iones de calcio, magnesio, fierro, meta--

les pesados y sulfatos. Los sulfatos son eliminados con -- carbonato de bario, el calcio con carbonato de potasio, y fierro y magnesio con hidróxido de potasio. Los metales pesados son arrastrados por los precipitados formados, en caso de que haya demasiados metales pesados, la salmuera es deliberadamente tratada con iones de fierro y calcio para aumentar el volumen de precipitados, hasta obtener un control de estos.

Las reacciones que se llevan a cabo en el reactor --- son:



El exceso de calcio en la salmuera es eliminado con -- carbonato de potasio.



La secuencia de adición debe ser la siguiente:

- 1.- Carbonato de bario
- 2.- Carbonato de potasio

3.- Hidróxido de potasio

La salmuera que sale del reactor se hace pasar por un filtro de arena, donde se eliminan los precipitados formados.

La solución filtrada es enviada a un cambiador de calor donde se enfría de 80°C a 60°C, para evitar la evaporación de la salmuera y del mercurio.

La salmuera durante la electrólisis de cloruro de potasio en las celdas de mercurio, sufre un calentamiento que llega hasta los 100°C, parte de este calor se disipa durante el proceso de resaturación, pero no lo suficiente para entrar nuevamente a celdas a la temperatura adecuada de 60°C.

La salmuera libre de partículas, es llevada a un tanque donde se ajusta el pH, a un potencial hidrógeno que varía de 2.5 a 5, con ácido clorhídrico (el pH usual es de 3.2).

2.- Electrólisis.

La solución salina, una vez ajustado el pH y comprobada nuevamente su concentración, se envía a un tanque elevado de nivel constante, el cual permite dar un gasto fijo de salmuera a las celdas.

La celda electrolítica de mercurio al descomponer un cloruro alcalino, da como resultado cloro gas, metal alcalino amalgamado con mercurio e hidrógeno.

La celda está compuesta de dos partes esenciales, que son: electrolizador y desamalgamador.

a.- Electrolizador.

Al electrolizador (celda electrolítica), se alimenta la solución purificada de cloruro de potasio, cercana a su punto de saturación, electrolizandoe entre ánodos de grafito y un cátodo, constituido por una película delgada de --mercurio, que circula a lo largo del fondo de la celda, en forma continua, sirviendo a la vez de vehículo a la salmuera.

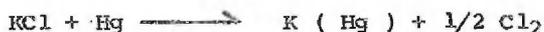
La corriente eléctrica necesaria para llevar a cabo -- la electrólisis, se obtiene por transformación de la co--rriente alterna en corriente continua. En la fábrica, la -- corriente alterna proveniente de la Comisión Federal de -- Electricidad es recibida a un voltaje de 13.8 KV (5), la cual es alimentada a un sistema de distribución cuya fun--ción es repartir la energía en las unidades de conversión. Cada unidad de conversión está constituida por un transformador y dos unidades de rectificación; que sirven para proporcionar la corriente directa a un voltaje de 4-4.5 V y -

200 KA, con una eficiencia de corriente de 95 %, necesaria para llevar a cabo la electrólisis en el interior de la celda.

Durante la electrólisis, el cloro formado se descarga en los ánodos, desprendiéndose en forma gaseosa, ocupando la cámara libre de la celda, de la cual por succión se envía a la línea de cloro concentrado que llega a un cabezal general para cloro, de donde se lleva a secado, compresión y licuación.

El metal alcalino se deposita en la superficie del cátodo de mercurio, formando una amalgama líquida, que por gravedad fluye al desamalgamador. La amalgama contiene entre 0.15 y 0.30 % en peso de metal alcalino.

Las reacciones que se efectúan son:



En el ánodo:



En el cátodo:



Desamalgamador

Al llegar la amalgama mercurio metal alcalino, al desamalgamador, se hace reaccionar con agua, formándose un hidróxido alcalino, hidrógeno y liberándose nuevamente mer

curio, el cual fluye a una tina en donde una bomba, nuevamente la recircula a la celda, se mantiene así un ciclo entre el electrolizador y el desamalgamador.

El hidrógeno obtenido en el desamalgamador, es enviado a la atmósfera o a la planta de ácido clorhídrico sintético, previo enfriamiento, con el objeto de recuperar el mercurio.

El hidróxido alcalino así obtenido es enviado directamente al tanque de almacenamiento.

Así el hidróxido alcalino está listo para venderse a una concentración de 45 % o ser llevado a la planta de escamado.

Las reacciones que se efectúan, son:



ánodo:



cátodo:



c.- Salmuera agotada.

La salmuera de cloruro alcalino que no reaccionó, que normalmente se le denomina salmuera agotada, se envía a un tanque almacén, de donde pasa a un tanque desclorador, en-

el que se le elimina el cloro disuelto.

La salmuera al salir de celdas, trae una concentración de 0.5 gpl de cloro disuelto, el cual es necesario diluir hasta 0.1 gpl, que es la concentración de cloro permisible en la celda. Para lograr esto, la salmuera se acidula con ácido clorhídrico, con el objeto de que reaccione con el ácido hipocloroso, desprendiéndose cloro, el cloro-residual es eliminado con hidróxido de potasio.

Las reacciones son:

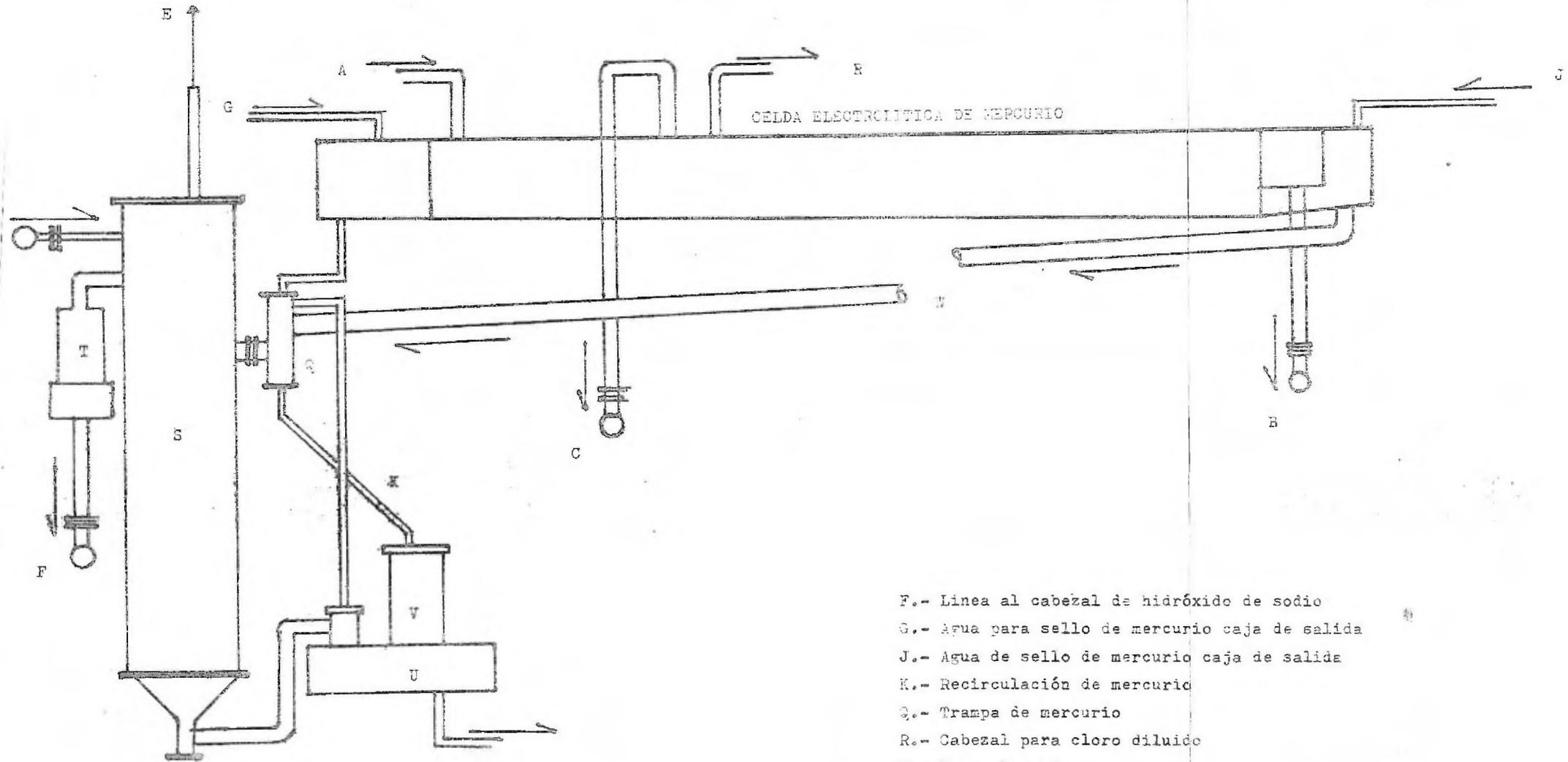


El cloro que se desprende en forma gaseosa, es succionado por una bomba de vacío, que lo envía al cabezal general para cloro.

La salmuera desclorada, se pasa a un tanque almacén, de donde parte se lleva al tanque de salmuera filtrada y parte al sistema de resaturación; de esta manera se cumple el ciclo para la obtención de hidróxido alcalino y cloro.

MODIFICACIONES NECESARIAS AL EQUIPO PARA PODER FABRICAR INDISTINTAMENTE HIDRÓXIDO DE SODIO Y DE POTASIO.

Antes de presentar las modificaciones que deben hacerse a la celda electrolítica de mercurio, para que se pueda



- A.- Línea de salmuera de cloruro de sodio concentrado
- B.- Línea de salmuera de cloruro de sodio agotado
- C.- Cabezal para cloro concentrado
- D.- Entrada de agua
- E.- Ventó de hidrógeno

- F.- Línea al cabezal de hidróxido de sodio
- G.- Agua para sello de mercurio caja de salida
- J.- Agua de sello de mercurio caja de salida
- K.- Recirculación de mercurio
- Q.- Trampa de mercurio
- R.- Cabezal para cloro diluido
- S.- Desamalgamador
- I.- Interrupción de corriente
- U.- Tina para mercurio
- V.- Bomba vertical para mercurio
- W.- Línea de amalgama mercurio-sodio
- X.- Salida agua de lavado

fabricar indistintamente hidróxido de sodio o de potasio, se presenta una descripción general de la celda (diagrama 2-3).

Las celdas que actualmente se tienen en operación en la fábrica, que se tomó como modelo para este trabajo, son del tipo De Nora 18 X 6, por lo que esta será la celda que se describa.

Para facilitar su descripción, se dividirá en dos partes; electrolizador y desamalgamador.

El electrolizador De Nora, consiste de una tina rectangular, con fondo de acero y lados de acero ahulados.

El fondo de acero de la tina, está recubierto de un plastico especial, el cual es resistente a la salmuera clorada y a la amalgama de mercurio-alkali. El plastico se adhiere perfectamente al fondo de la tina y en caso de daño puede ser reparado sin necesidad de cambiarlo totalmente.

Los ánodos de grafito están suspendidos de una rejilla de acero, montada sobre la celda por medio de unos pernos de acero, la clave de la celda, se refiere al arreglo de los ánodos. Se dispone de una celda del tipo 18 X 6, lo que significa que hay seis ánodos en hilera y dieciocho en columna o ciento ocho ánodos. Sus dimensiones son de ----

31 X 13 1/2 X 2 3/4 de pulgada, cada uno soportado por tubos roscados de grafito. Los tubos a su vez se detienen de una barra de cobre la cual sujeta a la rejilla.

La cubierta de la celda es una hoja de hule flexible-asegurada a la caja de la celda, cubriendo la parte superior de los ánodos de grafito.

Para ajustar la abertura cátodo ánodo, la rejilla es torcida hacia abajo por medio de dos pernos.

El electrolizador De Nora, consta de dos cajas de lavado, en cada extremo de la celda está colocada una. En la caja de entrada, llega el mercurio, mientras que la amalgama sale de la caja de salida. Cada caja se encuentra separada del interior de la celda por medio de una pared ahulada, por abajo de la cual pasa el mercurio, que constituye un sello, impidiendo que la salmuera entre a las cajas. El mercurio en la caja está cubierto constantemente por una capa de agua que evita la contaminación a la atmósfera por vapores de mercurio, además de eliminar el grafito que se acumula en la caja de salida.

La salmuera concentrada se alimenta a través de un dispositivo montado cerca de la caja de entrada; mientras que la salmuera agotada sale de la celda a través de dos conductos situados antes de la caja de salida.

En el centro de la celda hay un tubo en U que conecta al cloro con la línea que lo lleva a secado. De esa misma parte sale otro para cloro diluido, llevando a este al cabezal general.

El desamalgamador es una torre vertical de acero con empaque de grafito. El agua purificada que entra a la torre se pone en contacto con la amalgama mercurio-metal alcalino. La amalgama se descompone en mercurio y metal alcalino, que en contacto con el agua forma el hidróxido correspondiente. El mercurio sale por la parte inferior hacia la tina recibidora, en donde una bomba vertical nuevamente lo introduce a la celda. El hidróxido alcalino rebosa en la parte superior de la torre y pasa al cabezal de hidróxido alcalino.

En la reacción, al formarse el hidróxido alcalino se desprende hidrógeno, el cual sale por el cabezal de hidrógeno, colocado en la parte superior del desamalgamador, pasando al enfriador y luego a la planta de ácido clorhídrico sintético.

El interruptor de corriente, es un accesorio, que actúa como regadera para hidróxido alcalino, permitiendo al formarse las gotas, la interrupción de la corriente formada en el interior del desamalgamador.

MODIFICACIONES A LA CELDA.

El electrolizador recibe la salmuera por medio de un cabezal general para todas las celdas que estan conectadas al tanque de nivel constante.

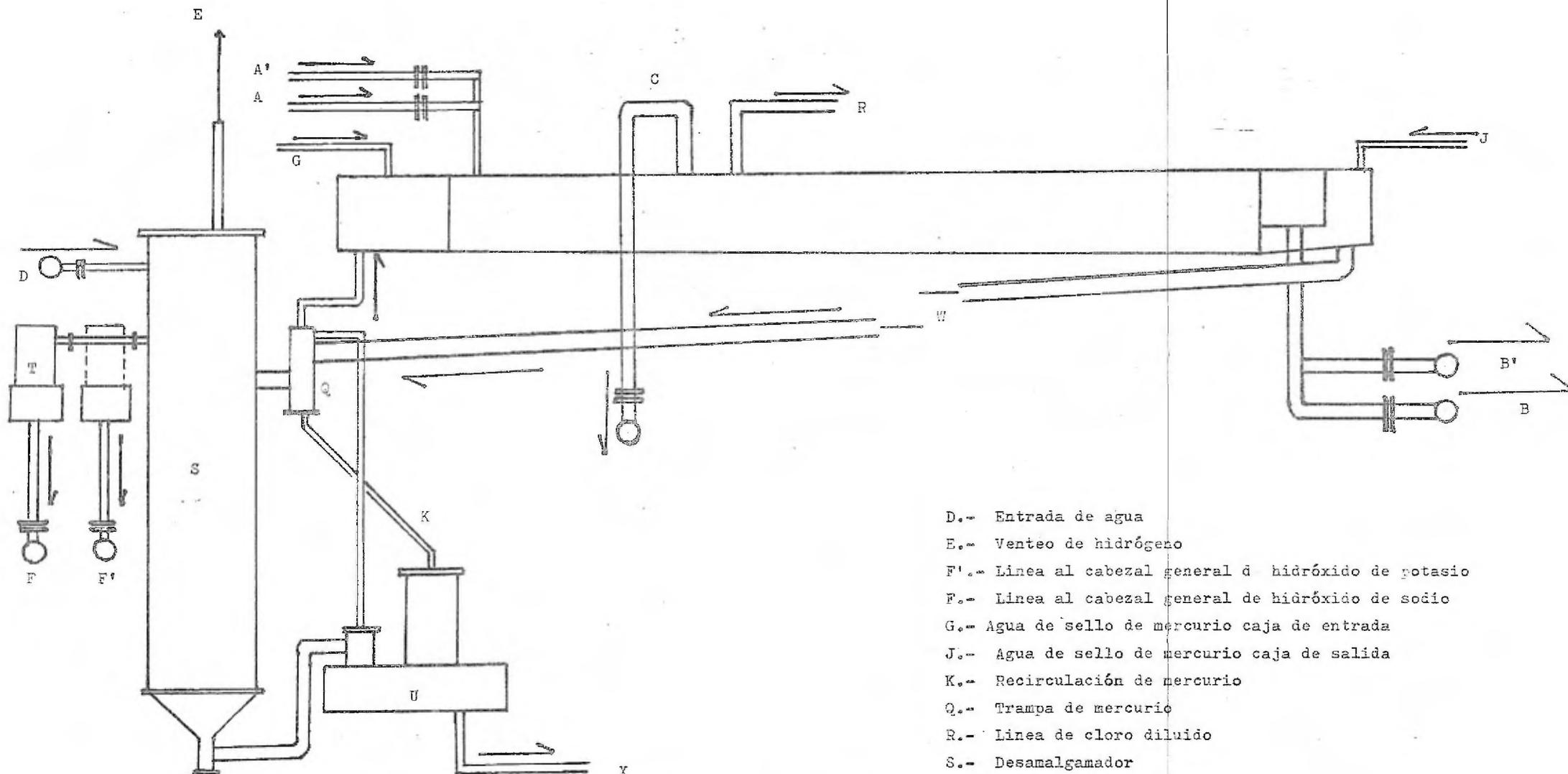
Las modificaciones necesarias para que la celda pueda trabajar indistintamente con salmuera de sodio o de potasio, se harán en la línea de alimentación de salmuera y en la línea de salmuera agotada que se encuentran cerca de las cajas de entrada y de salida respectivamente, de la celda-electrolítica. Además, de adaptar adecuadamente el interruptor de corriente, del desamalgamador.

Para ilustrar estos cambios se dispone del diagrama de la celda (diagrama 3-3).

El cambio en la línea de alimentación de salmuera consiste en instalar un cabezal doble que permita alimentar a la celda ya sea salmuera de cloruro de sodio y de potasio.

En la línea de salmuera agotada, también se instalará otro cabezal doble para desalojar la salmuera ya sea esta de cloruro de sodio o de potasio.

Después, de que se obtiene el hidróxido alcalino en el desamalgamador, debe pasar por un interruptor de corriente para discontinuar el circuito formado en el inte-



A'- Linea de salmuera de cloruro de potasio concentrado
 A.- Linea de salmuera de cloruro de sodio concentrado
 B'.- Linea de salmuera de cloruro de potasio diluido
 B.- Linea de salmuera de cloruro de sodio diluido
 C.- Linea al cabezal general de cloro concentrado

D.- Entrada de agua
 E.- Venteo de hidrógeno
 F'.- Linea al cabezal general de hidróxido de potasio
 F.- Linea al cabezal general de hidróxido de sodio
 G.- Agua de sello de mercurio caja de entrada
 J.- Agua de sello de mercurio caja de salida
 K.- Recirculación de mercurio
 Q.- Trampa de mercurio
 R.- Linea de cloro diluido
 S.- Desamalgamador
 T.- Interruptor de corriente
 U.- Tina de mercurio
 V.- Bomba vertical de mercurio
 W.- Linea de amalgama mercurio-metal alcalino
 X.- Salida agua de lavado

rior. En los desamalgamadores, este interruptor es fijo. - El cambio consiste en montar sobre un carrete, el interruptor de corriente, para moverlo de un cabezal a otro, según sea el hidróxido que se esté obteniendo.

En este trabajo la capacidad necesaria, para surtir - el mercado de hidróxido de potasio, se cubre con una celda, pero si la demanda aumentara, la modificación podría prolongarse a un mayor número de celdas.

En todos los cabezales dobles hay sistemas de bridas-ciegas, separadores, adecuados para hacer la conexiones - en poco tiempo y con el mínimo de contaminación cruzada.

C A P I T U L O I V

CALCULO DE MATERIA PRIMA.

La capacidad máxima de una celda de mercurio dedicada exclusivamente a la fabricación de hidróxido de potasio, - considerando 320 días de trabajo, es de: 3,040 Ton; por lo que tanto el cálculo de materia prima como de equipo está basado en esta capacidad.

Para producir 3,040 Ton/año de hidróxido de potasio - se requirieren 4,114 Ton/año de cloruro de potasio. Este --- cálculo de materia prima, se obtuvo como sigue:

P.M. KOH 56

P.M. KCl 74.5

Reacción:



56 Ton de KOH ----- 74.5 Ton de KCl

3,040 Ton/año de KOH ----- X Ton/año de KCl

$$X = \frac{74.5 \text{ Ton de KCl} \times 3,040 \text{ Ton/año de KOH}}{56 \text{ Ton de KOH}}$$

X = 4,044 Ton/año de KCl

El análisis de cloruro de potasio, muestra una pureza de 98.3 %.

Corrigiendo el resultado anterior con este factor de pureza, se tiene:

$$\frac{4,044 \text{ Ton/año de KCl}}{0.983} = 4,114 \text{ Ton/año de KCl}$$

Dividiendo este consumo por 320 días/año se tiene el consumo diario de cloruro de potasio.

$$\frac{4,114 \text{ Ton/año de KCl}}{320 \text{ días/año}} = 12.856 \text{ Ton/d de KCl}$$

Conociendo las necesidades de materia prima, se calcula, la cantidad de reactivos para la purificación de la salmuera.

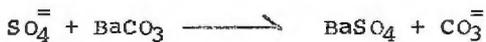
El cálculo de los reactivos se hizo utilizando el análisis de cloruro de potasio. Este análisis fué proporcionado por la Compañía Potash Company of America (10).

ANÁLISIS DE CLORURO DE POTASIO

KCl	98.34 %
Na	0.4
Ca	0.001
Mg	0.03
Sulfatos	0.12
Humedad	1.149

1.- Consumo diario de carbonato de bario para eliminar sulfatos.

Reacción:



96 197.4

12,856 kg/d de KCl X 0.0012 kg de $\text{SO}_4^{=}$ /kg de KCl = 15.42 Kg $\text{SO}_4^{=}$ /d

96 kg de $\text{SO}_4^{=}$ ————— 197.4 kg de BaCO_3

15.42 kg/d de $\text{SO}_4^{=}$ ————— X

$$X = \frac{15.42 \text{ kg/d de } \text{SO}_4^{=} \times 197.4 \text{ kg de } \text{BaCO}_3}{96 \text{ kg de } \text{SO}_4^{=}} = 31.70 \text{ kg/d BaCO}_3$$

2.- Consumo de carbonato de potasio para eliminar el calcio.

Reacción:



40 138

12,856 kg/d de KCl X 0.00001 de Ca^{++} /kg de KCl = 0.128 kg/d de Ca^{++}

40 kg de Ca^{++} ————— 138 kg de K_2CO_3

0.128 kg/d de Ca ————— X

$$X = \frac{0.128 \text{ kg/d de } \text{Ca}^{++} \times 138 \text{ kg de } \text{K}_2\text{CO}_3}{40 \text{ kg de } \text{Ca}^{++}} = 0.441 \text{ kg/d de } \text{K}_2\text{CO}_3$$

Además, debe existir un exceso de 0.1 gpi de carbonato de potasio en la salmuera para la eliminación total de calcio.

El flujo de salmuera que recircula diariamente en el sistema, se obtiene tomando en cuenta que el agotamiento en celdas es de 40 kg/m³.

$$\frac{12,856 \text{ kg/d de KCl}}{40 \text{ kg/m}^3} = 321 \text{ m}^3/\text{d de salmuera}$$

Exceso de K_2CO_3 :

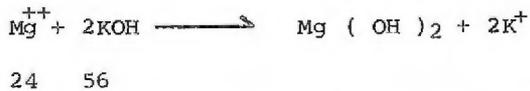
$$321 \text{ m}^3/\text{d} \text{ de salmuera} \times 0.1 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ de } K_2CO_3 = 32.1 \text{ kg}/\text{d} \text{ de } K_2CO_3$$

Total de carbonato de potasio:

$$0.441 \text{ kg}/\text{d} \text{ de } K_2CO_3 + 32.1 \text{ kg}/\text{d} \text{ de } K_2CO_3 = 32.54 \text{ kg}/\text{d} \text{ de } K_2CO_3$$

3.- Consumo de hidróxido de potasio para eliminar magnesio.

Reacción:



$$12,856 \text{ kg}/\text{d} \text{ de } KCl \times 0.0003 \text{ kg de } Mg/\text{kg de } KCl = 3.85 \text{ kg } Mg^{++}/\text{d}$$

$$112 \text{ kg de } KOH \text{ ----- } 24 \text{ kg de } Mg^{++}$$

$$x \text{ ----- } 3.85 \text{ kg de } Mg/\text{d}$$

$$x = \frac{112 \text{ kg de } KOH \times 3.85 \text{ kg}/\text{d de } Mg}{24 \text{ kg de } Mg} = 18.6 \text{ kg}/\text{d de } KOH$$

Consumo de hidróxido de potasio para neutralización de la salmuera (2.5 a 7).

La salmuera contiene 0.115 gpl de HCl

Reacción de neutralización:



El flujo diario, de salmuera, es de 321 m³/d.

La cantidad de ácido clorhídrico a neutralizar por día, será:

0.115 kg/m³ de HCl X 321 m³/d de salmuera = 36.91 kg/d HCl

56 kg de KOH ——— 36.5 kg de HCl

X ——— 36.91 kg/d HCl

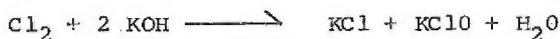
$$X = \frac{56 \text{ kg de KOH} \times 36.91 \text{ kg/d de HCl}}{36.5 \text{ kg de HCl}} = 56.6 \text{ kg/d de KOH}$$

Consumo de hidróxido de potasio para elevar el pH de la salmuera a 10.5

321 m³/d de salmuera X 0.0177 kg/m³ de KOH = 5.68 kg/d KOH

Consumo de hidróxido de potasio para eliminar el cloro de la salmuera reaccionada:

Reacción:



El contenido de cloro en la salmuera al salir de celdas es de 0.6 gpl.

0.6 kg/m³ de Cl₂ X 321 m³/d de salmuera = 192.6 kg/d de Cl₂

71 kg de Cl₂ ——— 112 kg de KOH

192.6 kg/d de Cl₂ ——— X

$$X = \frac{192.6 \text{ kg/d de Cl}_2 \times 112 \text{ kg de KOH}}{71 \text{ kg de Cl}_2} = 303.8 \text{ kg/d de KOH}$$

Consumo total de hidróxido de potasio:

a.- Eliminación de Mg	18.60 kg/d
b.- Neutralización y elevación pH	62.28 "
c.- Para eliminar cloro de salmuera	<u>351.95</u> "
TOTAL	432.83 "

T A B L A 1-4

RESUMEN DE LAS CANTIDADES DE REACTIVOS PARA PURIFICACION Y TRATAMIENTO DE SALMUERA.

REACTIVOS	CANTIDAD kg/d
Carbonato de bario	31.70
Carbonato de potasio	32.54
Hidróxido de potasio	432.83
Acido clorhídrico en litros	110.00 l/d

CALCULO DE EQUIPO.

El cálculo de equipo se determinó en función de la capacidad de una celda, que es de 12.856 Ton/d de KCl, trabajando 320 días/año.

1.- Tanque magma.

La cantidad de cloruro de potasio por hora es:

$$\frac{12,856 \text{ kg/d de KCl}}{24 \text{ hr/d}} = 530 \text{ kg/hr de KCl}$$

La densidad aparente del cloruro de potasio es de --- 1,980 kg/m³ (12), por lo tanto el volumen de esta sal es de:

$$\frac{530 \text{ kg/hr de KCl}}{1,980 \text{ m}^3/\text{hr}} = 0.268 \text{ m}^3/\text{hr de KCl}$$

Como una tercera parte de la salmuera sin cloro entra al tanque de magma, el volumen es:

$$0.268 \text{ m}^3/\text{hr de KCl} + 13.3 \text{ m}^3/\text{hr de salmuera} \times 1/3 = 4.701 \text{ m}^3/\text{hr}$$

La permanencia en el tanque es de una hora; entonces el volumen es:

$$4.701 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1 \text{ hr} = 4.701 \text{ m}^3 = 5 \text{ m}^3.$$

2.- Saturador.

El flujo de salmuera agotada y libre de cloro es de 13.3 m³/hr. Este flujo se divide en tres corrientes: la primera se dirige al tanque de magma, la segunda al saturador y la tercera al tanque de salmuera tratada.

El saturador tendrá un volumen equivalente a las dos-terceras partes del flujo de salmuera agotada y libre de cloro; ya que este es alimentado por las líneas provenientes del tanque de magma y del tanque de salmuera agotada y libre de cloro.

Volumen del saturador:

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \text{ de salmuera} \times 2/3 \text{ de salmuera} = 8.866 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Tiempo de retención de una hora:

$$8.866 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1 \text{ hr} = 8.866 \text{ m}^3 = 9 \text{ m}^3$$

Reactor.

En el reactor se efectúan las reacciones entre las impurezas del cloruro de potasio y los reactivos, el pH se debe ajustar 10.5, para ayudar a la precipitación de las impurezas.

El tiempo de retención será de 20 minutos.

$$\text{tiempo de retención} = \frac{\text{Capacidad del tanque}}{\text{Flujo de salmuera.}}$$

Capacidad del tanque: $20 \text{ min} \times 8.866 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1 \text{ hr}/60 \text{ min}$

$$\text{Capacidad del tanque} = 2.955 \text{ m}^3 = 3 \text{ m}^3$$

4.- Filtro.

El filtro que se usará es igual al existente en la fábrica de sosa-cloro, con las siguientes condiciones:

a.- De acero ahulado

b.- De 7 pies X 7 pies X 6 1/2 pies
(2.12 m X 2.12 m X 1.98 m)

c.- Operación por gravedad

d.- Material filtrante, antrafilt, con tamaño de partículas de 0.6 a 0.8 mm.

e.- Cama de antrafilt de 18 pulgadas, soportado por piedras de aloxite.

Tanque de salmuera tratada.

El volumen será el necesario para tres horas de trabajo. A este tanque llegan dos corrientes, la primera que viene del filtro que equivale a $8.866 \text{ m}^3/\text{hr}$, y la segunda de recirculación que viene del almacén de salmuera libre de cloro que es igual a $4.434 \text{ m}^3/\text{hr}$.

$$\text{Volumen} = (8.866 \text{ m}^3/\text{hr} + 4.434 \text{ m}^3/\text{hr}) \times 3 \text{ hr} = 39.9 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Volumen} = 40 \text{ m}^3$$

6.- Cambiador de calor. (6)

Condiciones de operación:

Temperatura de entrada de la salmuera 80°C (176°F)

Temperatura salida de la salmuera 60°C (140°F)

W salmuera = 13.3 m³/hr

Densidad salmuera (12) 72.5 lb/ft³ (116 kg/m³)

Tipo de cambiador de calor:

De coraza y tubos, con las siguientes características;
tubos de acero 304 del tipo BWG-14, de 6 ft de largo por 1 pulgada de diámetro, arreglo cuadrado de 1 1/4 con 158 tubos. Los deflectores a 15.3 cm uno de otro.

Cálculos:

Cp salmuera a 176°F = 0.825 BTU/lb °F (7)

$$72.5 \text{ lb/ft}^3 = 2,760 \text{ lb/m}^3$$

$$W = 13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times 2,760 \text{ lb/m}^3 = 34,000 \text{ lb/hr}$$

$$Q = W C_p (T_2 - T_1) \quad (7)$$

$$Q_s = 34,000 \text{ lb/hr} \times 0.825 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} (140 - 176) ^\circ\text{F}$$

$$Q_s = 1,005,000 \text{ BTU/hr}$$

Temperatura de salida del agua.

$$W \text{ agua} = 37,400 \text{ lb/hr}$$

$$C_p \text{ agua} = 1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F}$$

$$W_s C_{p_s} (T_{s_2} - T_{s_1}) = W_a C_{p_a} (T_{a_2} - T_{a_1})$$

$$(T_{a2} - T_{a1}) = \frac{1,005,000 \text{ BTU/hr}}{1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \times 37,400 \text{ lb/hr}} = 26.7^\circ\text{F}$$

El agua entra a 68°F , como existe una diferencia de temperatura, el agua sale a:

$$T_{a2} = 26.7^\circ + 68^\circ\text{F} = 94.7^\circ\text{F} \quad (36^\circ\text{C})$$

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

$$(\Delta T)_{ml} = \frac{(176^\circ\text{F} - 94.7^\circ\text{F}) - (140^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F})}{\ln \frac{(176^\circ\text{F} - 94.7^\circ\text{F})}{(140^\circ\text{F} - 68.0^\circ\text{F})}} = 82^\circ\text{F} \quad (27.7^\circ\text{C})$$

Parámetros para corregir el valor de $(\Delta T)_{ml}$:

$$X = \frac{T_{a2} - T_{a1}}{T_{s1} - T_{a1}} = \frac{94.7^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F}}{176.0^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F}} = 0.248$$

$$Z = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{T_{a2} - T_{a1}} = \frac{176.0^\circ\text{F} - 140^\circ\text{F}}{94.7^\circ\text{F} - 68^\circ\text{F}} = 1.35$$

Para estos valores $Y = 0.975$

El valor de $(\Delta T)_{ml}$, corregido es:

$$82^\circ\text{F} \times 0.975 = 80^\circ\text{F}$$

Coefficiente del lado del tubo (h_i).

La salmuera pasa por el interior del tubo.

$$s_i = \frac{\pi D_i^2}{4} = \frac{0.785 \times (0.834 \text{ pulg})^2}{(12 \text{ pulg/pie})^2} = 0.00381 \text{ pie}^2/\text{tubo}$$

El área total de flujo es igual al número de tubos -- por el área de sección transversal entre el número de pasos, por lo tanto:

$$A = \frac{158 \text{ tubos} \times 0.00381 \text{ pie}^2/\text{tubo}}{2 \text{ pasos}} = 0.301 \text{ pie}^2$$

$$G \text{ masa velocidad} = \frac{W_s}{A} = \frac{34,000 \text{ lb/hr}}{0.301 \text{ pie}^2} = 113,200 \text{ lb/hr pie}^2$$

Viscosidad de la salmuera a 176°F = 0.95 Cp

$$Re = \frac{DG}{\mu} = Re = \frac{0.834 \text{ pulg} \times 113,200 \text{ lb/hr pie}^2}{12 \text{ pulg/pie} \times 0.95 \text{ Cp} \times 2.42 \text{ lb/pie hr}} = 3,460$$

$$\frac{L}{D} = \frac{6 \text{ pie}}{0.834 \text{ pulg} \times 1 \text{ pie}/12 \text{ pulg}} = 60$$

Para una L/D y un Reynolds de 3,460, se obtiene una J_G de 0.0038.

$$J_G = \frac{h_i}{C_p G} \quad (Pr)^{2/3} \left(\frac{\mu_s}{\mu_i} \right)^{0.14} = 0.0038$$

Conductividad térmica de salmuera = 0.33 BTU/hr pie² °F/pie

$$Pr = \frac{0.825 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} \times 0.95 \text{ Cp} \times 2.42 \text{ lb/pie hr}}{0.33 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/pie}} = 5.76$$

$$Pr^{2/3} = (5.76)^{2/3} = 3.21$$

Como cálculo inicial se supone $(\mu_s/\mu_i)^{0.14} = 1$

$$h_i = \frac{J_G C_p G}{Pr^{2/3}} = \frac{0.0038 \times 0.825 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} \times 113,200 \text{ lb/hr pie}^2}{3.21}$$

$$h_i = 111 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Coeficiente del lado de la coraza (agua enfriamiento)

El diámetro externo del tubo es de 1 pulg. El número de tubos al centro, del cambiador, se obtiene dividiendo el diámetro de la coraza entre el arreglo de los tubos menos 1.

$$\text{número de tubos al centro} = \frac{20 \text{ pulg}}{1.25 \text{ pulg}} - 1 = 15$$

Utilizando la longitud del área de flujo, del lado de la coraza, como iguales al espaciamiento de los deflectores, el área mínima para el fluido del lado de la coraza, será:

$$S_{\text{coraza}} = \frac{15 \times 0.25 \text{ pulg} \times 6 \text{ pulg}}{12 \text{ pulg/pie} \times 12 \text{ pulg/pie}} = 0.1566 \text{ pie}^2$$

Gasto en masa del agua:

$$G = \frac{37,400 \text{ lb/hr}}{0.1566 \text{ pie}^2} = 239,000 \text{ lb/hr pie}^2$$

Viscosidad del agua = 0.9 Cp

$$\text{Re} = \frac{D_o G}{\mu} = \frac{1 \text{ pulg}/12 \text{ pulg/pie} \times 239,000 \text{ lb/hr pie}^2}{0.9 \text{ Cp} \times 2.42 \text{ lb/hr pie}^2} = 9,150$$

Para un Reynolds de 9,150 y un arreglo cuadrado se tiene una $J_{G_{\max}}$ de 0.009.

$$J_{G_{\max}} = 0.009 = \frac{h_o}{C_p G} \quad \text{Pr} \quad \frac{2}{3} \quad \frac{\mu_{\text{is}}}{\mu_i} \quad 0.14$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{K}$$

Conductividad térmica agua = 0.356 BTU/hr pie² °F/pie

Cp del agua = 1 BTU/lb °F

$$Pr = \left[\frac{1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} \times 0.9 \text{ Cp} \times 2.42 \text{ lb/pie hr}}{0.356 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/pie}} \right]^{2/3} = 3.35$$

Suponiendo que $(\mu/\mu_0)^{0.14} = 1$

$$h_o = \frac{0.009 \times 1 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{F} \times 239,000 \text{ lb/hr pie}^2}{3.35} = 645 \text{ BTU/hr pie}^2$$

Considerando el 60 % de h_o

$$h_o = 645 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \times 60 \% = 387 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Sumando las resistencias sin tomar el factor de incrustación:

Resistencia interior del tubo.

$$R_i = 1/111 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 0.009 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/BTU}$$

Resistencia tubo.

$$\text{Tubo} = \frac{\Delta X (A_i)}{K \times \bar{A}}$$

$$\Delta X = 0.038 \text{ pulg}$$

$$A_i = 3.14 \times 0.083 \text{ pulg}/12 \text{ pulg/pie} \times 1 \text{ pie/pie} = 0.218 \text{ pie}^2$$

Conductividad térmica tubo BWG-304 = 9 BTU/hr pie² °F/pie

$$A = 0.240 \text{ pie}^2$$

$$R_t = \frac{0.038 \text{ pulg}/12 \text{ pulg/pie} \times 0.218 \text{ pie}^2}{9 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/pie} \times 0.240 \text{ pie}^2} = 0.0007 \text{ hr pie}^2/\text{BTU}$$

Resistencia fluido en la coraza.

$$R_o = \frac{A_i}{h_o A_o} = \frac{0.218 \text{ pie}^2}{387 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \times 0.260 \text{ pie}^2} = 0.0026 \text{ hr } \frac{\text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{t_o} = R_i + R_t + R_o = 0.01186 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/BTU}$$

$$U_{\text{limpia}} = \frac{1}{R_{t_o}} = \frac{1}{0.01186} = 84.4 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Usando este coeficiente total de resistencia se ajustan los de superficie, considerando a $(\mu\text{is}/\text{Mi})^{0.14}$, con su valor real.

La temperatura en la superficie se calcula por medio de resistencias y fuerzas directrices, basados en los coeficientes calculados.

Temperatura de superficie interna.

$$\frac{\text{Resistencia del tubo}}{\text{Resistencia total}} = \frac{\text{Fuerza directriz en el tubo}}{\text{Fuerza directriz total}}$$

$$\frac{0.009 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/BTU}}{0.01186 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F/BTU}} = \frac{T_i}{T_s - T_a}$$

$$T_s = \frac{176 \text{ } ^\circ\text{F} + 140 \text{ } ^\circ\text{F}}{2}$$

$$T_a = \frac{68 \text{ } ^\circ\text{F} + 94.7 \text{ } ^\circ\text{F}}{2}$$

$$T_i = 57.7 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_i = \frac{176 \text{ } ^\circ\text{F} + 140 \text{ } ^\circ\text{F}}{2} - 57.7 \text{ } ^\circ\text{F} = 100.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Viscosidad de la salmuera 100.5 °F = 1.6 Cp

$$\left(\frac{1.6}{0.95} \right)^{0.14} = 1.085$$

Corrigiendo h_i :

$$h_i = \frac{111 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{1.085} = 101.3 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Temperatura de la superficie externa.

$$\frac{\text{Resistencia del lado coraza}}{\text{Resistencia total}} = \frac{\text{Fuerza directriz coraza}}{\text{Fuerza directriz total}}$$

$$\frac{0.00216 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}}{0.01186 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}} = \frac{T_o}{T_s - T_a}$$

$$T_o = 0.182 \left[\frac{176 \text{ }^\circ\text{F} - 140 \text{ }^\circ\text{F}}{2} - \frac{68 \text{ }^\circ\text{F} - 94.7 \text{ }^\circ\text{F}}{2} \right]$$

$$T_o = 13.85 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_o = 81.3 \text{ }^\circ\text{F} + 13.85 \text{ }^\circ\text{F} = 95.15 \text{ }^\circ\text{F}$$

Viscosidad del agua a $95.15 \text{ }^\circ\text{F} = 0.78 \text{ Cp}$

$$\left(\frac{0.78 \text{ Cp}}{0.90 \text{ Cp}} \right)^{0.14} = 0.9801$$

Corrigiendo h_o :

$$h_o = \frac{383 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}}{0.9801} = 400 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

La nueva resistencia total es:

$$R_i = \frac{1}{101.3 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}} = 0.00987 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}$$

$$R_t = 0.0007 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}$$

$$R_o = \frac{A_i}{A_o h_o} = \frac{0.218 \text{ pie}^2}{400 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F} \times 0.260 \text{ pie}^2}$$

$$R_o = 0.0021 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}$$

$$R_{t_o} = R_i + R_t + R_o = 0.01267 \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F/BTU}$$

$$U_{\text{limpia}} = \frac{1}{0.01267 \text{ hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{BTU}} = 79 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Area total requerida:

$$A = \frac{Q}{U_1 Y T_{1m}} = \frac{1,005,000 \text{ BTU/hr}}{79 \text{ BTU/hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \times 0.975 \times 80 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$A = 163.4 \text{ pie}^2 \text{ (} 15.2 \text{ m}^2 \text{)}$$

Area disponible:

Número de tubos X longitud X 3.14 X diámetro interno en --
pies

$$A_t = 158 \text{ tubos} \times 6 \text{ pies} \times 3.14 \times 0.834 \text{ pulg}/12 \text{ pulg/pie tubo}$$

$$A_t = 207 \text{ pie}^2 \text{ (} 19.28 \text{ m}^2 \text{)}$$

7.- Tanque para salmuera enfriada y tratada.

La capacidad del tanque será para tres horas de trabajo.

$$\text{Flujo de salmuera por hora} = 13.3 \text{ m}^3/\text{hr}.$$

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times 3 \text{ hr} = 39.9 \text{ m}^3 = 40 \text{ m}^3$$

8.- Tanque de nivel constante.

Capacidad para media hora de trabajo.

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times 0.5 \text{ hr} = 6.65 \text{ m}^3 = 7 \text{ m}^3$$

Tanque de salmuera agotada.

9.- Capacidad de dos horas de trabajo.

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times 2 \text{ hr} = 26.6 \text{ m}^3 = 30 \text{ m}^3$$

10.- Tanque para eliminación de cloro.

Capacidad de 15 minutos.

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times \text{hr}/60 \text{ min} \times 15 \text{ min} = 3.34 \text{ m}^3 = 3.5 \text{ m}^3$$

11.- Tanque para salmuera libre de cloro.

Capacidad para una hora.

$$13.3 \text{ m}^3/\text{hr} \times 1 \text{ hr} = 13.3 \text{ m}^3 = 13.5 \text{ m}^3$$

12.- Almacén de hidróxido de potasio.

Capacidad para cuatro días.

Producción diaria de hidróxido de potasio = 9,500 kg/d
obteniéndose al 45 %.

$$\frac{9,500 \text{ kg/d}}{0.45} = 21,500 \text{ kg/d al } 45 \% \text{ de KOH}$$

Densidad del hidróxido de potasio al 45 % = 1,480 kg/m³

(15)

$$\frac{21,500 \text{ kg/d}}{1,480 \text{ kg/m}^3} = 14.4 \text{ m}^3/\text{d} \times 4 \text{ d} = 56.4 \text{ m}^3 = 56 \text{ m}^3$$

C A P I T U L O V

INVERSION FIJA

El monto de la inversión fija se determinó considerando la capacidad de operación anual de una celda electrolítica de mercurio trabajando exclusivamente en la fabricación de hidróxido de potasio.

La inversión fija se divide en:

- 1.- Equipo e instalación.
- 2.- Servicios
- 3.- Terrenos
- 4.- Edificios
- 5.- Tuberías y conexiones
- 6.- Equipo eléctrico
- 7.- Instrumentación
- 8.- Pintura y otros.

Equipo (2)

El costo del equipo empleado para la fabricación -- del hidróxido de potasio, comprende: Tanque de magma, --- reactor, saturador, filtro, cambiador de calor, depósitos- para salmuera tratada y salmuera agotada, tanque para eli- minar cloro, almacén de hidróxido de potasio y bombas cen- trifugas para movilización de salmuera.

Dada la similitud de los procesos de obtención de -- hidróxido de sodio y de potasio, se aprovecharán las instalaciones existentes, como: celdas, transformadores y rectificadores de corriente, unidad de licuación y compresión de cloro así como el sistema de evaporación y escamado.

Evaluación de equipo, para la producción de hidróxido de potasio, utilizando una celda de mercurio. (16) (17)

a.- Saturador.	\$ 10,000.00
b.- Reactor provisto de agitador.	\$ 42,300.00
c.- Filtro.	\$ 240,000.00
d.- Tanque de salmuera tratada	\$ 56,000.00
e.- Cambiador de calor	\$ 110,000.00
f.- Tanque para salmuera enfriada y tratada.	\$ 56,000.00
g.- Tanque de nivel constante.	\$ 14,000.00
h.- Tanque de salmuera agotada.	\$ 45,000.00
i.- Tanque de salmuera libre de cloro	\$ 22,000.00
j.- Tanque para eliminación de cloro	\$ 7,000.00
k.- Almacén para hidróxido de potasio.	\$ 112,000.00
l.- Bombas centrífugas (10).	\$ 80,000.00
m.- Tanques para reactivos (3).	\$ 15,000.00
TOTAL COSTO DE EQUIPO	\$ 809,300.00
Instalación 25%	\$ 202,300.00
TOTAL EQUIPO INSTALADO	\$ 1,011,600.00

Inversión fija necesaria para fabricar hidróxido --
de potasio utilizando una celda de mercurio. (17)

Equipo instalado.	\$ 1,011,600.00
Tubería 25%	\$ 253,000.00
Instrumentación 8%	\$ 81,000.00
Edificio 40%	\$ 405,000.00
Ingeniería 6%	\$ 61,000.00
Imprevistos 10%	\$ 101,000.00
Gastos de Arranque 5%	\$ 51,000.00
Servicios 5%	\$ 51,000.00
Licencia de Fabricación	\$ 80,000.00
	<u>\$ 2,094,600.00</u>

TOTAL INVERSION FIJA

COSTO DE OPERACION DE UNA CELDA DE MERCURIO

El cloruro de potasio, materia prima básica para la fabricación de hidróxido de potasio, se importará directamente de Estados Unidos. Las necesidades de carbonato de bario, carbonato de potasio y ácido clorhídrico, se surtirán del Mercado Nacional. El hidróxido de potasio necesario en el proceso se obtendrá de plaza mientras este se produce en la planta.

Los costos son L.A.B. planta, para las materias primas. (10).

T A B L A 1-5

Costo de Materias primas, para la fabricación de hidróxido de potasio.

Materia Prima	Unidad	Cantidad Anual	Costo Unitario	Costo Anual
KCl	Ton	4,114.000	\$ 550.00	\$2,263,000.00
B _a CO ₃	"	10.144	\$3,400.00	\$ 34,500.00
K ₂ CO ₃	"	10.413	\$2,500.00	\$ 26,000.00
HCl	"	40.640	\$ 650.00	\$ 26,500.00
KOH	"	138.505	\$3,100.00	\$ 430,000.00
Hg	"	4.000	\$70,000.00	\$ 280,000.00
Electricidad	Kw - hr	6,570,000	\$ 0.13	\$ 854,000.00
TOTAL MATERIA PRIMA			\$	3,914,000.00

MANO DE OBRA	COSTO ANUAL
1.- Un Gerente de planta que dedicará -- 20% de su tiempo a la fabricación de- hidróxido de potasio. Sueldo \$ 20,000.00/mes \$ 20,000.00/mes x 0.20x12 meses =	\$ 48,000.00
2.- 4 supervisores que dedicarán 30% de - su tiempo a la planta de hidróxido de potasio. Sueldo \$ 8,000.00/mes 4 x \$ 8,000.00/mes x 0.30 x 12 meses =	\$115,200.00
3.- 4 operarios por turno Sueldo \$ 2,500.00/mes \$ 2,500.00/mes x 4 x 4 x 12 meses =	\$480,000.00
4.- 4 obreros especializados que dedicarán - 5% de su tiempo a la celda de hidróxido- de potasio. Sueldo \$ 4000.00/mes 4 x \$ 4000.00/mes x 0.05 x 12 meses =	<u>\$ 9,600.00</u>
TOTAL MANO DE OBRA	\$652,800.00

EMPAQUE

El hidróxido de potasio se venderá en tambores de -
fierro de 180 Kg netos.

Producción anual 3040 $\frac{\text{Ton}}{\text{Año}}$ de KOH.

Costo unitario de tambor \$ 45.00

$\frac{3,040 \text{ Ton/Año}}{0.180 \text{ Ton/tambor}} \times \frac{\$45.00}{\text{Tambor}} = \$ 760,000.00$

MANTENIMIENTO

Se tomó 6% sobre la inversión fija. \$ 126,000.00

FINANCIAMIENTO

13% de interés sobre el 50% de la

inversión fija. \$ 136,000.00

SEGUROS

2% sobre inversión fija \$ 42,000.00

T A B L A 2-5

COSTO ANUAL DE OPERACION DE UNA CELDA ELECTROLITICA DE --
MERCURIO.

Materia prima	\$ 3,914,000.00
Mano de obra	\$ 652,800.00
Mantenimiento	\$ 126,000.00
Empaque	\$ 760,000.00
Financiamiento	\$ 136,000.00
Seguros	\$ 42,000.00
Depreciación	\$ 209,500.00
Depreciación celda	\$ 62,500.00
TOTAL	\$ 5,902,800.00

COSTO DE PRODUCCION:

Costo de producción = $\frac{\text{Costo anual de operación de la celda}}{\text{Producción}}$

Hidróxido de potasio producido = 3,040 Ton/año

Costo de producción = $\frac{\$ 5,902,800.00}{3,040 \text{ Ton/año}} = \frac{\$1942.00}{\text{TON}}$

CAPITAL DE TRABAJO.

El Capital de Trabajo se compone de los siguientes-
renglones: inventario de materia prima, inventario de Mate-
riales terminados, inventario de materiales en proceso, --

cuentas por cobrar y efectivo en caja; los cuales aseguran las operaciones de la fábrica.

T A B L A 3-5

EVALUACION DEL CAPITAL DE TRABAJO.

1.- Materias primas 60 días.

costo de KCl = \$ 550.00/Ton.

Cantidad diaria de KCl = 12.8 Ton.

$$12.8 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times 60 \text{ días} \times \frac{\$ 550.00}{\text{Ton}} = \$ 424,200.00$$

2.- Inventario de Materiales terminados,-

20 días a costo de producción.

Costo de producción = \$ 1942.00/Ton.

Producción diaria de Hidróxido de po---

sio = 9.5 $\frac{\text{Ton}}{\text{día}}$

$$9.5 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times 20 \text{ día} \times \frac{\$ 1,942.00}{\text{Ton}} = \$ 369,000.00$$

3.- Inventario de materiales en proceso, --

20 días a costo de producción.

$$9.5 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times 20 \text{ día} \times \$ \frac{1,942.00}{\text{Ton}} = \$ 369,000.00$$

4.- Clientes 55 días a costo de producción.

$$9.5 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} \times 55 \text{ día} \times \frac{\$ 1,942.00}{\text{Ton}} = \$ 1,015,000.00$$

5.- Efectivo

\$ 500,000.00

TOTAL CAPITAL DE TRABAJO

\$ 2,677,200.00

La inversión fija mas el capital de trabajo da la -
inversión total de la fábrica.

Inversión fija	\$ 2,094,600.00
Capital de trabajo	\$ 2,677,200.00
Gastos de preoperación y = arranque.	<u>\$ 500,000.00</u>
INVERSION TOTAL,	\$ 5,271,800.00



QUIMICA

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS

Producción anual	3,040 Ton.
Precio promedio de ventas \$/Ton	\$ 3,100.00
Ventas brutas	\$ 9,424,000.00
3% impuestos sobre ingresos mercanti- les	\$ <u>283,000.00</u>
Ventas Netas	\$ 9,141,000.00
Costo del hidróxido de potasio	
Materias primas	\$ 3,914,000.00
Mano de obra	\$ 652,800.00
Mantenimiento	\$ 126,000.00
Empaque	\$ <u>760,000.00</u>
TOTAL (Costo de Venta)	\$ 5,452,800.00
Utilidad bruta sobre ventas	\$ 3,688,200.00
Gastos generales de fábrica	\$ 283,000.00
Gastos de Administración	\$ 377,000.00
Gastos de venta	\$ 471,000.00
Gastos financieros	\$ 136,000.00
Depreciación equipo	\$ 209,500.00
Amortización gastos diferidos	\$ 50,000.00
Depreciación celda	\$ 62,500.00
Investigación	\$ 94,000.00
Publicidad	\$ 94,000.00

Seguros	<u>\$ 42,000.00</u>
TOTAL COSTOS FIJOS	\$ 1,819,000.00
Utilidad neta antes de impuestos	\$ 1,869,200.00
Impuesto sobre la renta y reparto de utilidades 50% sobre la -- utilidad.	\$ 934,600.00
Utilidad neta	\$ 934,600.00

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\text{Utilidad neta después de impuestos}}{\text{Inversión total}}$$

$$\text{Rentabilidad} = \frac{\$ 934,600.00}{\$ 5,271,800.00} \times 100 = 17.7\%$$

GRAFICA DEL PUNTO DE EQUILIBRIO

La gráfica del punto de equilibrio indica la relación entre los gastos fijos y variables con respecto a las ventas. (Ver gráfica 1-5)

El presupuesto de gastos y utilidades se indica en la siguiente tabla. (3)

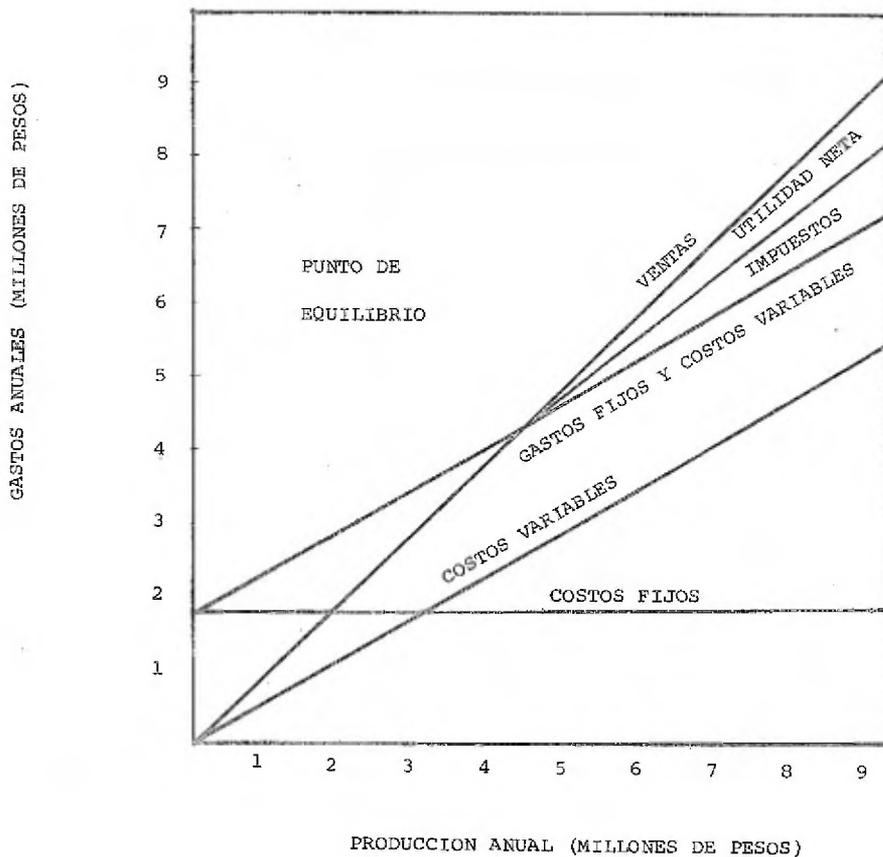
T A B L A 4-5

PRESUPUESTO DE GASTOS Y UTILIDADES PARA LA OPERACION DE UNA CELDA ELECTROLITICA DE MERCURIO, ANUAL.

Materias primas	\$ 3,914,000.00
Mantenimiento	\$ 126,000.00
Mano de obra	\$ 652,800.00
Empaque	\$ <u>760,000.00</u>
TOTAL GASTOS VARIABLES	\$ 5,452,800.00
Depreciación equipo	\$ 209,500.00
Depreciación celda	\$ 62,500.00
Gastos generales de fábrica	\$ 283,000.00
Gastos de administración	\$ 377,000.00
Gastos de venta	\$ 471,000.00
Gastos financieros	\$ 136,000.00
Publicidad	\$ 94,000.00
Investigación	\$ 94,000.00

Seguro	\$ 42,000.00
Amortización gastos diferidos	<u>\$ 50,000.00</u>
TOTAL GASTOS FIJOS	\$ 1,819,000.00
TOTAL VENTAS BRUTAS	\$ 9,424,000.00
Impuesto sobre ingresos mercantiles 3%	<u>\$ 283,000.00</u>
TOTAL VENTAS NETAS	\$ 9,141,000.00
Total gastos fijos y variables	<u>\$ 7,271,800.00</u>
Utilidad en las operaciones	\$ 1,869,200.00

GRAFICA 1-5
PUNTO DE EQUILIBRIO



CONCLUSIONES.

1.- La demanda de hidróxido de potasio en México y Sudamérica es del orden de las 3,000 Ton/año; no habiendo un productor Latinoamericano de éste álcali, se presenta en México la posibilidad de fabricarlo, ya que la demanda de cloro creará excedentes de hidróxido de sodio que no serán absorbidos por el mercado; favoreciéndose así la fabricación de potasa al poderse aprovechar la capacidad sobrante de una planta productora de sosa-cloro.

2.a.- El estudio de mercado realizado determinó que las importaciones de hidróxido de potasio en los últimos 16 años presentan un crecimiento promedio anual del 17.3%, esto indica que la demanda para este producto es constante, haciendo interesante su fabricación con lo que se evitará la fuga de divisas al sustituir un producto de importación.

2.b.- La Secretaría de Industria y Comercio, cierra la frontera a las importaciones de los productos que se fabrican en México, cuando estos son producidos en suficiente cantidad para surtir las necesidades de mercado, contando además con las especificaciones de calidad requeridas, si esto se logra, lo cual es perfectamente posible, se asegura el mercado nacional de hidróxido de potasio.

2.c.- El convenio ALALC, ayuda a que los productos-

fabricados en latinoamérica, tengan preferencia sobre los demás países, cuando estos compiten en precio y calidad; - permitiendo ampliar considerablemente el mercado de venta; además, no existe un productor de hidróxido de potasio en Sudamérica que pueda constituir un competidor.

3.a.- El hidróxido de potasio se puede obtener haciendo algunas modificaciones a las celdas electrolíticas de mercurio en una planta productora de hidróxido de sodio, de tal manera que en esta se obtenga simultáneamente los dos hidróxidos sin que exista contaminación cruzada.

3.b.- No es necesario modificar las instalaciones eléctricas con que cuenta actualmente la fábrica, ya que estas son suficientes para cumplir con la demanda de energía requerida para llevar a cabo ambos procesos.

4.a.- El cálculo de equipo se reduce a las secciones del proceso encargadas de tratar, purificar y recuperar la salmuera.

4.b.- El equipo adicional necesario para producir hidróxido de potasio se calculó en función a las condiciones de trabajo existentes en la planta.

4.c.- Las modificaciones a la celda electrolítica deben efectuarse en las líneas de alimentación y descarga de salmuera, permitiendo así el cambio ya sea a salmuera -

de cloruro de potasio o cloruro de sodio en el menor tiempo posible y con el mínimo de pérdidas.

5.a.- La evaluación económica de este proyecto se -- aplica a una fábrica que actualmente esta en operación produciendo hidróxido de sodio-cloro, por el método de celdas-electrolíticas de mercurio, y que su producción exceda las necesidades del mercado nacional, permitiendo así la separación de una o más celdas para obtener hidróxido de potasio--según lo requiera este mercado.

5.b.- La disponibilidad de equipo en la fábrica favorece sensiblemente la reducción de la inversión fija haciendo más atractivo el proyecto.

5.c.- La técnica de producción de hidróxido de sodio y de potasio es semejante permitiendo ahorro económico y de tiempo en la investigación del proceso y en el adiestramiento del personal facilitando por tanto su fabricación. Además como ya se cuenta con los canales de distribución y venta para la sosa cáustica estos mismos pueden ser utilizados para la venta del hidróxido de potasio.

5.d.- Los resultados de la evaluación económica, indican una buena rentabilidad, por lo que este proyecto es factible de llevarse a la práctica, siempre que se cuente con las condiciones señaladas.

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

- 1.- Asociación Nacional de la Industria Química. Registro de los permisos de importación presentados a la Secretaría de Industria y Comercio. Litoimpresora S.A. -- (1968-1969)
- 2.- Brownell L.I., Young E.H. Equipment Design.- John -- Wiley and Sons, New York. (1964)
- 3.- Denaro A.R. Elementary Electrochemistry.- Butterworth and Co. London (1965)
- 4.- Departamento de estadística de la Secretaría de In--- dustria y Comercio. Anuario Estadístico. Talleres -- Gráficos de la Nación, México D.F. (1957-1969)
- 5.- Dow Chemical Company. Caustic Potash Form No. 126 ---- 14-60. The Dow Chemical Company. Midland Michigan. -- (1960)
- 6.- Foust A.S., Wenzel L.A., Clump C.W., Maus L. y Ander- sen L.B. Principles of Unit Operations.- Toppan Compa ny Ltd. Tokyo (1960)
- 7.- Kern D.Q. Process Heat Transfer. Kogakusha Company Ltd. Tokyo (1950)

- 8.- Kreyszig E. Matemáticas Avanzadas para Ingenieros. --
Limusa-Wiley México D.F. (1967)
- 9.- Mode E.B. Elements of Probability and Statistics. Prentice
Hall Inc. New York. (1966)
- 10.- The Chemical Marketing Newspaper. O.P.D. Chemical Bu-
yers Directory. Schnell Publishing Company Ltd. New -
York (1968-1969)
- 11.- Ostle B. Estadística Aplicada. Limusa Wiley México, -
D.F. (1965)
- 12.- Perry J.H. Chemical Engineers' Handbook McGraw Hill -
Book Company Inc. New York (1950)
- 13.- Raustenstrauch W., Villers R. Economía de las Empre--
sas Industriales. Fondo de Cultura Económica. México-
D.F. (1953)
- 14.- Salas G. Comunicación Personal. Consejo de Recursos -
Naturales no Renovables, dependiente de la Secretaría
del Patrimonio Nacional (1972)
- 15.- Sconce J.S. Chlorine Reinhold Publishing Corporation-
New York (1962)

- 16.- Vilbrandt F.C. Chemical Engineering Plant Design. Kogakusha Company Ltd. Tokyo. (1959)
- 17.-Zapata A. comunicación personal. Departamento de producción de la planta de sosa-cloro Grupo Químico Cydsa - (1972).