



\*D-18653\*



T  
628.1662  
ENCe  
C.2

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE**  
**LA PRODUCCION**

**Estudio de Mercado y Factibilidad**  
**Economica para la Instalación de una**  
**Planta de Cloro y Soda Caustica en**  
**Guayaquil**

**TESIS DE GRADO**

Previa la Obtención del Título de:  
**INGENIERO MECANICO**

Presentada por:  
**LUIS ENCALADA PURUNCAJAS**

Guayaquil - Ecuador

Año 1998

## AGRADECIMIENTO

Ing. Julián Peña E., director de tesis y  
compañeros que con su colaboración  
tuvimos éxito en la realización de este  
Proyecto.

## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de  
Grado, me corresponden exclusivamente, y el  
patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA  
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

( Reglamento de Graduación de la ESPOL )

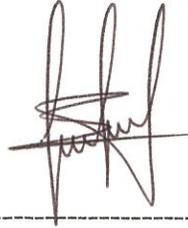
  
Luis Enrique Encalada P.

**TRIBUNAL DE GRADUACION**



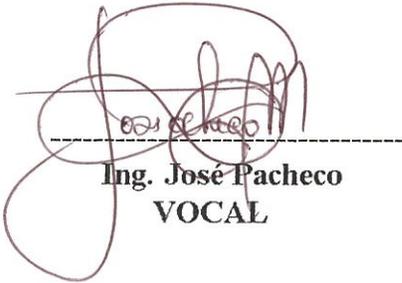
---

**Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIM**



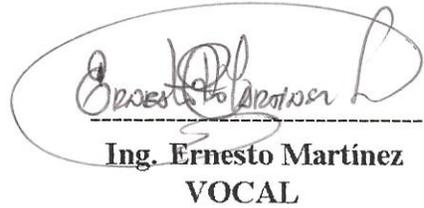
---

**Ing. Julián Peña E.  
DIRECTOR DE TESIS**



---

**Ing. José Pacheco  
VOCAL**



---

**Ing. Ernesto Martínez  
VOCAL**

## RESUMEN

El uso industrial de la soda cáustica y del cloro gaseoso es cada vez mayor, debido a las propiedades que presentan estos elementos como son la desinfección y limpieza.

En este estudio se tratará de reflejar la gran importancia estratégica que poseen estos elementos sobre todo en las industrias potabilizadoras de agua en nuestro país y que estuvieron afectadas en el año de 1995 debido a conflictos bélicos con el Perú. Y de la gran cantidad de recursos económicos que se utilizan para importar estos productos desde el exterior.

En el capítulo 1 se verá la demanda existente del cloro gaseoso y de la soda cáustica en el mercado ecuatoriano, además de la evolución que han tenido las importaciones en las últimas décadas, así de las continuas alzas de precios que han tenido estos productos en los últimos años. También se analizará la formas de abastecimiento de los consumidores industriales por parte de las comercializadoras de químicos de nuestro país.

En el capítulo 2 se hablará sobre la disponibilidad de la tecnología, los diferentes requerimientos de materia prima e insumos para la instalación de la planta, así como de la localización y tamaño de esta.

En el capítulo 3 se hablará de los diferentes costos de equipos y materia prima e insumos del proyecto. Así como de la factibilidad económica del proyecto y su periodo de retorno.

Al final se obtendrán conclusiones del trabajo realizado, considerando la demanda de la soda cáustica y del cloro gaseoso y la factibilidad económica que posea este estudio para ser implementado en un futuro en nuestro país.

## INDICE GENERAL

	pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	VII
INDICE DE TABLAS.....	VIII
NOMENCLATURA.....	X
INTRODUCCION.....	XI
1 ANALISIS DEL CONSUMO DE CLORO GASEOSO Y SODA	
CAUSTICA.....	14
1.1 Usos y campo de utilización del cloro gaseoso .....	14
1.2 Análisis de las importaciones del cloro gaseoso.....	16
1.2.1 Evolución de las importaciones.....	16
1.2.2 Países proveedores y precios de importación.....	23
1.3 Formas de abastecimiento del cloro gaseoso.....	25
1.4 Usos y campo de utilización de la soda cáustica.....	25

1.5 Análisis de las importaciones de la soda cáustica.....	26
1.5.1 Evolución de las importaciones.....	27
1.5.2 Países proveedores y precios de importación.....	30
1.6 Formas de abastecimiento de la soda cáustica.....	32
2. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACION DEL	
PROYECTO.....	36
2.1 Disponibilidad de la tecnología.....	37
2.2 Tamaño de la planta.....	41
2.3 Descripción del proceso.....	44
2.4 Requerimientos de la materia prima e insumos.....	46
2.5 Disponibilidad de las materia primas y energía.....	47
2.6 Localización de la planta.....	48
3 EVALUACION ECONOMICA.....	51
3.1 Costos de materia prima, insumos y mano de obra.....	51
3.2 Tasa interna y Periodo de Retorno.....	54
3.3 Factibilidad del proyecto.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71



## INDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.1	Consumo de Cloro Gaseoso en el Ecuador.....18
Figura 1.2	Consumo de Soda Cáustica en el Ecuador.....29
Figura 1.3	Barco transportador de soda cáustica .....33
Figura 1.4	Muelle de descarga de soda cáustica.....34
Figura 2.1	Comportamiento de la demanda de cloro en el Ecuador.....42
Figura 2.2	Comportamiento de la demanda de soda cáustica en el Ecuador.....43
Figura 3.1	Flujo acumulado para escenario 1.....60
Figura 3.2	Flujo acumulado para escenario 2.....64
Figura 3.3	Flujo acumulado para escenario 3.....68

## INDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla # 1 Importaciones de cloro en el Ecuador.....	17
Tabla # 2 Consumo histórico de la ECAPAG año 1993.....	19
Tabla # 3 Consumo histórico de la ECAPAG año 1994.....	20
Tabla # 4 Consumo histórico de la ECAPAG año 1995.....	21
Tabla # 5 Precios de importación del cloro gaseoso.....	24
Tabla # 6 Importación de soda cáustica en el Ecuador.....	28
Tabla # 7 Precios de importación de la soda cáustica.....	31
Tabla # 8 Requerimientos de materia prima e insumos.....	47
Tabla # 9 Costos de materia prima.....	53
Tabla # 10 Costos de insumos.....	53
Tabla # 11 Costos de mano de obra y personal.....	54

Tabla # 12 Estado de resultados para escenario 1.....	57
Tabla # 13 Estado de resultados para escenario 2.....	61
Tabla # 14 Estados de resultado para escenario 3.....	65

## NOMENCLATURA

Cl	Cloro
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acido Sulfúrico
H Cl	Acido clorhídrico
Cl Ba	Cloruro de Bario
EE	Energía eléctrica
M <sup>3</sup>	Metro cubico
USD\$	Dólares Norteamericanos
Tn.	Tonelada Métrica
Kg.	Kilogramo

## INTRODUCCION

Ante la necesidad de desarrollar las industrias básicas de infraestructura en nuestro país, se ha concedido prioridad a la fabricación de algunos productos de alto consumo en la industria nacional, tales como son el cloro gaseoso y soda cáustica

Considerando este hecho, se ha elaborado un estudio de mercado y factibilidad de proyecto, con la finalidad de contar con las bases para analizar la viabilidad de implantar un proceso de manufactura para obtener en el Ecuador soda cáustica y cloro gaseoso a través de producciones integradas en un importante complejo industrial que sustituyan en gran parte el mercado actual que se limita a la importación de estos bienes de consumo industrial.

El estudio de mercado incluye perfiles industriales que ofrecen elementos de juicio importantes para trabajos posteriores.

Este trabajo está dirigido a beneficiar a los pequeños industriales, tomando en consideración la gran demanda existente del mercado de la soda cáustica en el Ecuador y sus diferentes aplicaciones en este sector, así como también la demanda existente de cloro gaseoso, por parte de las empresas potabilizadoras de agua y del gran monopolio que ha existido en nuestro país por parte de empresas importadoras de químicos que han encarecido el precio de estos químicos de vital importancia en la industria.

En este estudio se analiza los costos de implementación del proyecto, así como los costos operacionales de una planta productora de cloro gaseoso y soda cáustica, y

la factibilidad económica que tenga este estudio, relacionado íntimamente con la demanda de cloro y soda cáustica que posea el mercado ecuatoriano.

## **CAPITULO 1**

# **"ANALISIS DEL CONSUMO DE CLORO GASEOSO Y SODA CAUSTICA"**

## 1. ANALISIS DEL CONSUMO DE CLORO Y SODA CAUSTICA

Se trata del amplió campo de utilización del cloro gaseoso y sus derivados en el Ecuador y de la gran importancia que tiene este producto en la industria despotabilización de agua.

En este estudio se verá que el sector industrial está íntimamente involucrado, ya que estos productos son básicos para la industria de limpieza y purificación, se ha realizado una investigación de la demanda del mercado ecuatoriano para el cloro gaseoso y la soda cáustica que esta basado principalmente en las importaciones que ha realizado el Ecuador a los diferentes países en los últimos años y los precios actualizados de importación.

Se presenta un consumo histórico de la Empresa Provincial Potabilizadora de Agua del Guayas, que será nuestro principal cliente de consumo del cloro gaseoso, así también de las diferentes empresas consumidoras de soda cáustica.

### 1.1 USOS Y CAMPO DE UTILIZACION DEL CLORO GASEOSO

A continuación se describen los principales usos y aplicaciones del cloro gaseoso en el Ecuador.

Los principales usos del cloro se encuentran en:

- La purificación de agua

- El blanqueo, ya sea como cloro o como hipocloritos, clorito de sodio u otras sales
  
- La agricultura, en abonos y fungicidas.
  
- Desinfección.
  
- La industria Petroquímica, en la refinación de petróleo.
  
- Lavado de ropa y frutas.

En el Ecuador, según las estadísticas, el cloro es fundamentalmente consumido en la purificación del agua. En la región Costa se utiliza más el cloro que en la Sierra, ya que las empresas potabilizadoras de agua, necesitan este producto para la desinfección de las aguas provenientes de los ríos y por lo general las aguas de los ríos de la Sierra son más puras que la de los ríos de la Costa.

Existen diferentes empresas que utilizan el cloro gaseoso como materia prima,

como son:

La industria petroquímica para el proceso de elaboración de los derivados del petróleo.

La agricultura para la elaboración de fertilizantes.

La industria del blanqueo para la elaboración de diferentes tipos de cloro tanto para uso domestico como para uso sanitario en los hospitales.

En el lavado de frutas y para la desinfección de piscinas en la acuicultura.

## **1.2 ANALISIS DE LAS IMPORTACIONES DEL CLORO GASEOSO**

Tendremos que realizar un análisis estadístico de las importaciones de cloro y sus derivados. Para conocer la real situación de las importaciones de estos productos y el alcance que podrá tener este proyecto en el futuro.

Para lo cual nos valdremos de datos estadísticos que nos reflejara la situación actual de nuestro país y de la demanda existente de este producto, además de las diferentes formas de comercializarlo en nuestro mercado.

### **1.2.1 EVOLUCION DE LAS IMPORTACIONES**

En la siguiente tabla se presenta la demanda de cloro que ha existido en el Ecuador en las últimas tres décadas, así como de sus derivados.

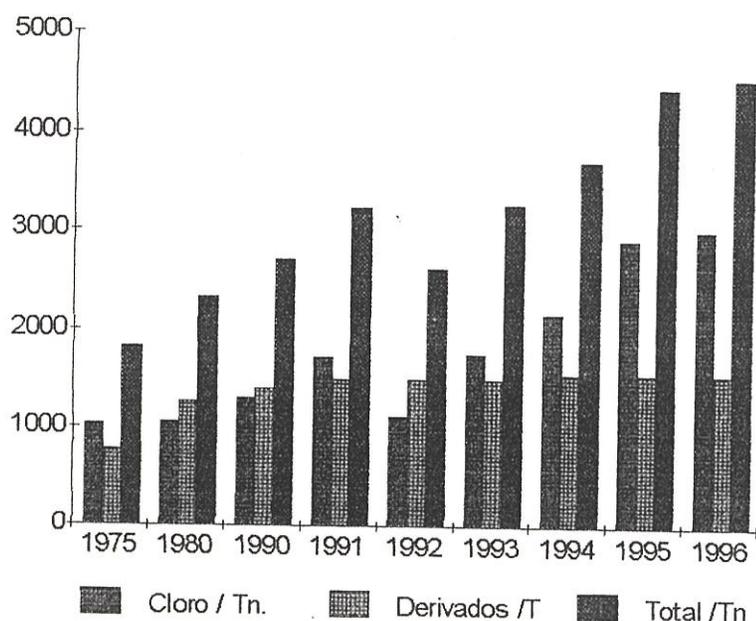
TABLA No. I

## "IMPORTACIONES DE CLORO EN EL ECUADOR"(6)

AÑO	CLORO (Tn.)	DERIVADOS (Tn.)	TOTAL (Tn.)
1975	1040	783	1823
1980	1055	1275	2330
1990	1300	1400	2700
1991	1724	1500	3224
1992	1121	1500	2621
1993	1753	1500	3253
1994	2156	1550	3706
1995	2900	1550	4450
1996	2998	1550	4548

FIGURA 1.1

## "CONSUMO DE CLORO EN EL ECUADOR"



Las importaciones de cloro en el país fundamentalmente se destinan al tratamiento de agua para el consumo humano, por lo cual se deduce que el desarrollo urbano del país incidirá directamente en los requerimientos de cloro para la finalidad anotada.

Por esta razón, para la elaboración de la proyección se ha considerado los programas que tienen delineados los municipios de Quito y la Empresa Provincial del Agua Potable del Guayas para los próximos años. En la siguiente tabla se presenta el detalle del consumo histórico que ha realizado la Empresa de Alcantarillado y Agua Potable del Guayas en los últimos años.

TABLA No. II

## "CONSUMO HISTORICO DE LA ECAPAG"

AÑO 1993

Mes	Cloro(Kg)	Dosis	Total (M3 de agua potable)
Enero	72174	46	15825900
Febrero	76617	55	14582300
Marzo	77550	49	16911600
Abril	67056	42	16887000
Mayo	59197	365	17149000
Junio	58302	36	16766100
Julio	63318	36	18169200
Agosto	64192	35	18,436.300
Sept.	65988	38	17471400
Octubre	69042	38	18190000
Novi.	65232	375	17594700

TABLA No. III

## "CONSUMO HISTORICO DE LA ECAPAG"

AÑO 1994

Mes	Cloro(Kg)	Dosis	Total (M3 de agua potable)
Enero	68656	38	18237400
Febrero	68878	45	15838100
Marzo	74362	42	18024200
Abril	94393	45	21064800
Julio	88904	36	24491800
Agosto	91462	38	24133600
Sept.	83485	35	23752700
Oct.	86860	35	24507500
Dic.	95075	37	25470300

TABLA No. IV

## "CONSUMO HISTORICO DE LA ECAPAG"

AÑO 1995

Mes	Cloro(Kg)	Dosis	Total (M3 de agua potable)
Enero	112664	4,4	25,669.700
Febrero	109670	4,9	22360400
Marzo	118403	4,4	26898500
Abril	108425	4	26707700
Mayo	76030	28	27474000
Junio	322055	13	24860000
Julio	81773	27	30791200
Agosto	91637	34	27113000
Sept.	90885	33	27333400

La Empresa Provincial de Alcantarillado y Agua Potable del Guayas, al crear su tercera planta en el año de 1994 ubicada en el Km. 26 Vía a Daule creció su demanda en un 30 %,En la Planta # 3 de la ECAPAG, además de cloro se utilizan otras sustancias químicas para potabilizar el agua.

El consumo de cloro en el año de 1996 fue de 4548 TM y para 1997 será de aproximadamente 5000 TM., con un crecimiento anual de un 10 %.

### **Consumo de derivados del Cloro**

El cuadro resume las importaciones de los últimos años de los principales productos derivados del cloro:

- Acido clorhídrico
- Sales del ácido clorhídrico
- Sales de los ácidos clórico y perclórico
- Sales de los ácidos hipocloroso y cloroso

### **Acido Clorhídrico**

En el período 1995-1996 las importaciones de ácido clorhídrico experimentaron un crecimiento anual de 7.5%. En los tres últimos años, el consumo promedio fue del orden de las 500 TM.

Entre los países proveedores más importantes en el año 1995 figuran Colombia, con el 52%, y Perú con el 42%, aproximadamente.

Haciendo la conversión de ácido clorhídrico en términos de cloro, se desprende que en los últimos tres años el promedio de importaciones indirectas fue de 175 TM cloro.

Realizada la proyección de la demanda nacional de ácido clorhídrico con la misma tendencia (7.5%), resulta que en 1997 sería de 537,5 TN. equivalente a 188 TM. de cloro; y en el año 2000 de aproximadamente de 700 TM., equivalentes a 245 TM de cloro.

### **Sales del ácido Clorhídrico**

Las importaciones de las sales del ácido clorhídrico tuvieron una tendencia creciente del 12% anual en el periodo 1990 - 1995.

Los principales países proveedores de este periodo fueron: Bélgica, Japón y Estados Unidos, con el 90% de las importaciones.

En términos de cloro, (con el factor de conversión de 0.5), el consumo de estas en 1996 fue de aproximadamente de 560TM.

### **1.2.2 PAISES PROVEEDORES Y PRECIOS DE IMPORTACION**

A continuación se presenta una tabla en la que se detalla la cantidad de cloro importada, los precios de importación y los países proveedores en los últimos años.

TABLA No. V

## "PRECIOS DE IMPORTACION DE CLORO GASEOSO"(5)

AÑO	CANTIDAD (Tn.)	PAIS	VALOR USD\$ FOB	VALOR USD\$ CIF
	0,02	Argentina	40	138
1991	705,92	Colombia	263500	302730
	7,477	U.S.A.	5298	7799
	1010,57	Perú	335958	393346
	372,6	Colombia	140960	158695
1992	0,913	U.S.A.	10161	10490
	747,5	Perú	261069	305943
	72,56	Colombia	25440	28247
1993	222	Chile	38308	51483
	20,96	U.S.A.	17762	24560
	1437,83	Perú	478584	635325
	79,588	Colombia	54744	56960
	808,902	Chile	155858	199108
1994	1,863	U.S.A.	2125	3422
	2	Israel	4500	5772
	1264,13	Perú	340990	495844
	1515	Chile	293988	364304
1995	91,83	U.S.A.	19593	40744
	0,1	Holanda	751	1108
	1292,13	Perú	233503	341632
	9,877	Colombia	15794	16864
1996	1305,25	Chile	271032	329098
	22,87	U.S.A.	26605	37598
	1659,83	Perú	253538	417074

### 1.3 FORMAS DE ABASTECIMIENTO DEL CLORO GASEOSO

Los principales consumidores de cloro en el país son las empresas de tratamiento de agua. En el año 1995 y 1996, estas empresas consumieron alrededor del 85 % del cloro total importado, convirtiéndose este mercado en el gran consumidor de cloro gaseoso.

Normalmente las importaciones se hacen en tanques de 22.253 Toneladas. La empresa importadora PENTAQUIM distribuye en tanques de 908 kg. para el consumo de las empresas potabilizadoras de agua a nivel nacional, y en tanques de menor capacidad para la industria del blanqueo y de desinfección, esta empresa cabe notar que satisface todo el mercado ecuatoriano a base de sus importaciones..

Respecto a los envases de 908 Kg., hay que aclarar que una parte de los cilindros son de propiedad de la planta productora de cloro, concedidos en préstamos hasta un nuevo pedidolos restantes son de propiedad del consumidor.

### 1.4 USOS Y CAMPO DE UTILIZACION DE LA SODA CAUSTICA

A continuación se describen los usos generales y campo de utilización de la soda cáustica, para luego hacer referencia a su utilización en el Ecuador.

La soda cáustica se utiliza ampliamente en los siguientes campos:

- Fabricación de jabones y detergentes

- Fabricación de diversos compuestos químicos
  
- En la industria del papel ,cuero y explosivos
  
- En la industria textil para desengrasar, blanquear y teñir
  
- Para la refinación del petróleo en la remoción del ácido sulfúrico y ácidos orgánicos
  
- En la regeneración del caucho
  
- Para la purificación de aceites vegetales
  
- En la industria embotelladora

En el Ecuador las importaciones de soda cáustica están destinadas principalmente a satisfacer las necesidades de la industria jabonera y en menor proporción las de las industrias textiles, del papel, de aceites y para el lavado de envases en las embotelladoras.

### **1.5 ANALISIS DE LAS IMPORTACIONES DE LA SODA CAUSTICA**

La soda cáustica en el Ecuador tiene diferentes usos como se detalla en el subcapítulo anterior y está íntimamente ligada a las industrias como materia prima, éstas las demandan en solución al 99 % o al 50 % , luego la diluyen de acuerdo a las aplicaciones que requieran darle, esta soda cáustica se la comercializa al granel en tanques

metálicos de 55 galones en forma diluida o en fundas de 50 Kilogramos en presentación de escama por parte de los importadores de productos químicos.

La soda cáustica ha tenido una evolución muy rápida en nuestras industrias debido a las amplias propiedades que esta presenta, como son la de limpieza, que por lo cual su demanda ha sido cada vez mayor, aunque con ciertas regulaciones que proporciona el estado ya que este es un precursor para obtener drogas.

### **1.5.1 EVOLUCION DE LAS IMPORTACIONES**

A continuación se presenta un detalle de las importaciones de soda cáustica que ha tenido el Ecuador en las últimas décadas.

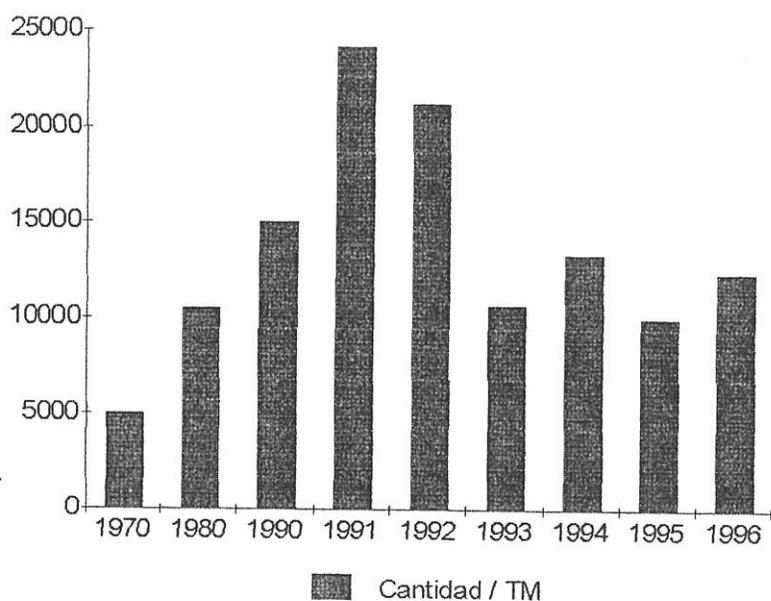
TABLA NO. VI

**"IMPORTACIONES DE SODA CAUSTICA EN EL ECUADOR"(6)**

AÑO	CANTIDAD (Tn.)	VALOR (USD \$)	PRECIO CIF (USD\$/Tn.)
1970	4998	590600	118,2
1980	10500	2110500	201
1990	15000	4335000	289
1991	24138	7082514	293,41
1992	21181,95	2737431	129,33
1993	10631,2	2683289	252,4
1994	13285	2914581	219,38
1995	9975	4303106	43138
1996	12347	4172326	338

FIGURA 1.2

## "CONSUMO DE SODA CAUSTICA EN EL ECUADOR"



En el país no se produce soda cáustica y la demanda existente se satisface a través de importaciones que normalmente se efectúan desde los Estados Unidos y Europa.

En el último año, el país ha importado un promedio de 12.000 TM por un valor CIF superior a los US \$ 4.172.326 como se refleja en el cuadro.

Solamente en el año 1991 se observa que existe una cifra de importación mayor al promedio indicado, debido a algún tipo de factor externo o precio en el mercado.

Del cuadro se desprende que los Estados Unidos es el país que abastece casi toda la demanda ecuatoriana de soda cáustica, el resto de soda cáustica normalmente se importa de Francia, Inglaterra y los países bajos, especialmente y últimamente se han iniciado adquisiciones desde Perú y Argentina, aunque en volumen pequeño.

#### **1.5.2 PAISES PROVEEDORES Y PRECIOS DE IMPORTACION**

A continuación se presenta una tabla en la que se detalla la cantidad de soda cáustica importada, los precios de importación y los países proveedores en los últimos años

TABLA No. VII

## " PRECIOS DE IMPORTACION DE SODA CAUSTICA"(5)

AÑO	CANTIDAD (Tn)	PAIS	VALOR USDS FOB	VALOR USDS CIF
	4,878	Alemania	11513	12108
1991	17257,3	U.S.A.	5015411	6332480
	2002,69	Perú	579109	737926
1992	21181,9	U.S.A.	2044535	2737431
	0,013	Alemania	895	1030
1993	0,006	Argentina	161	241
	519,09	Brasil	96931	155727
	10111	U.S.A.	1584225	2526291
	0,019	Alemania	857	1035
1994	0,02	Austria	50	120
	10967,22	U.S.A.	1418319	2249047
	2587,72	Perú	514042	664379
	0,378	Alemania	1731	2244
1995	6544,47	U.S.A.	2224748	2897202
	0,06	N. Zelandi	282	338
	3430,14	Perú	864800	1065660
	0,228	Alemania	2508	2782
1996	6118,22	U.S.A.	1072496	1563931
	6228	Perú	2226448	2605613

## 1.6 FORMAS DE ABASTECIMIENTO DE LA SODA CAUSTICA

La industria jabonera es la principal consumidora de soda cáustica en el país; le siguen en orden de importancia las industrias textiles, azucareras y papeleras.

En el año 1995, la industria de jabones consumió un 42% del total de importaciones, la industria textil un 15% y un 10% cada una de la industria azucarera y papelera.

En general, las industrias consumidoras, compran directamente en el país a grandes importadores como HOLANDA del ECUADOR y PROQUIMSA, quienes importan directamente en buques desde los Estados Unidos en forma de granel como se puede ver en la figura 1.3 y 1.4 y almacenan estos productos en almaceneras de la localidad. Holanda Ecuador importó en el año 1996 de 6.000 TM. y PROQUIMSA alrededor de 6.200 TM. .

Cabe notar que la soda cáustica, esta bajo el control de la CONSEP, y todas las industrias consumidoras deben de responder hasta el último kilo de la utilización de la soda cáustica, por lo cual muchas empresas están reciclando la soda, dando como resultado la disminución de la demanda.

Actualmente, Holanda del Ecuador y Proquimsa desde sus tanques de almacenamientos instalados en Guayaquil distribuyen a nivel nacional la soda cáustica en solución al 50 % y 99 %. A pesar de que el precio del producto colombiano es menor se prefiere el norteamericano por su gran calidad, especialmente en lo relacionado al contenido de hierro.



FIGURA 1.3  
BUQUE TRANSPORTADOR DE SODA CAUSTICA

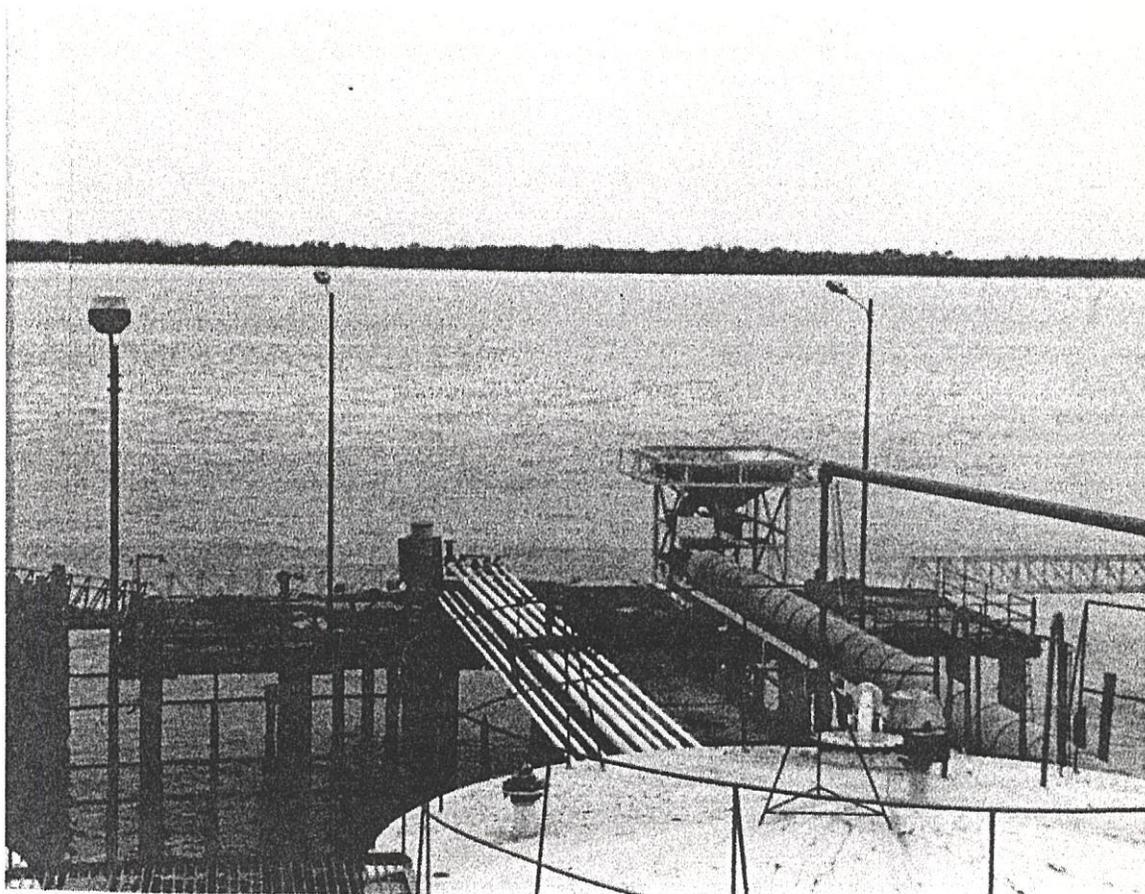


FIGURA 1.4  
MUELLE DE DESCARGUE DE SODA CAUSTICA

## **CAPITULO 2**

### **" REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACION DEL PROYECTO "**

## 2. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACION DEL PROYECTO

En este capítulo 2 se observa una alternativa de producción que consiste en obtener cloro gaseoso y soda cáustica por la vía electrolítica, esta es una alternativa que se apega más a nuestras necesidades del mercado así como de los requerimientos de materia prima, los costos de producción y facilidad de obtener la tecnología dentro del país.

Existen tres esquemas posibles para producir industrialmente los productos principales estudiados en el capítulo 1.

La primera alternativa consiste en integrar la producción de cloro-soda obtenida por la vía electrolítica con celdas de mercurio, la segunda consiste en la utilización de celdas de diafragma, y la tercera con celdas de membrana.

Según la vía de producción que se seleccione será posible obtener diferentes subproductos característicos. La factibilidad de producir económicamente soda cáustica y cloro gaseoso en el país dependerá en gran parte del tamaño del mercado de estos productos, de la existencia de un balance equilibrado entre la demanda y la producción de subproductos como también del precio al que estos se coticen en el mercado.

Según esta última consideración serán el cloro gaseoso y la soda cáustica los productos que influyan decisivamente en la selección de estas alternativas de producción.

Como base para los balances de materiales y determinación del tamaño de las plantas se considera la demanda nacional del cloro gaseoso proyectada para 1997.

## 2.1 DISPONIBILIDAD DE LA TECNOLOGIA

El cloro y la soda cáustica se producen casi totalmente, por la electrólisis de soluciones acuosas de cloruros de metales alcalinos, o a partir de cloruros fundidos.

La electrólisis de salmueras produce cloro en el ánodo e hidrogeno, junto con la soda cáustica en el cátodo.

Si el cloro y la soda cáustica son los productos finales, el diseño de la celda debe ser tal que impida que se mezclen. Se han inventado muchos diseños ingeniosos para celdas prácticas.

En la actualidad tres tipos dominan la industria, la celda de diafragma, la celda de membrana y la celda de mercurio. Hay muchas variantes de cada tipo.

En este tema se tratará de describir el proceso de obtener soda cáustica por la vía electrolítica, así como los requerimientos, disponibilidad de tecnología y materias prima.

Para producir soda cáustica por la vía electrolítica se han desarrollado algunos procesos que utilizan como materia prima el cloruro de sodio. Entre las principales tecnologías, por la acogida que han gozado en el sector industrial, merecen ser

considerados el proceso de las células de mercurio y el de las células de diafragma, cada uno de los cuales cuenta con numerosas variantes.

Hace apenas unos cuantos años parecía que la celda de mercurio dominaría pronto debido a su alta calidad y a la reducida evaporación que se requiere, pero surgieron dificultades inesperadas. La descarga de mercurio en las aguas cercanas aunque en pequeña cantidad, resultó ser la fuente del metil mercurio, que causa una enfermedad que produce graves procesos degenerativos observado primero en algunos niños japoneses.

Esta circunstancia llevó a reducciones drásticas en la descarga permisible de mercurio en el aire o agua. y ahora han hecho que en algunos países prohíban por completo la producción con celdas de mercurio.

Los diseños mejorados de las celdas de membrana y las técnicas de purificación más modernas y más baratas han reducido los costos y mejorado la eficiencia hasta el punto de que la celdas de membrana con ánodo de titanio que sean estables desde el punto de vista dimensional, es la que parece estar a punto de predominar.

Las celdas de diafragma contienen un diafragma, generalmente hecho de fibras de asbesto, para separar el ánodo del cátodo. Esto permite que no pasen a través de él migración eléctrica, pero reduce la difusión de los productos. Los ánodos por lo general se han hecho de grafito y los cátodos de hierro fundido. Los diafragmas permiten la construcción de celdas compactas, de resistencia disminuida, porque los electrodos pueden colocarse juntos.

Los diafragmas se obstruyen con el uso, lo que se manifiesta con una mayor caída de voltaje y por una presión hidrostática más alta en la salmuera, por lo que deben reemplazarse con regularidad.

Las celdas de membrana tiene una membrana semipermeable para separar los compartimentos del ánodo del cátodo. En las celdas de membrana se separan los compartimentos con hojas porosas de plástico químicamente activas, que permiten el paso de los iones de sodio, pero rechazan los iones oxidrilo.

Se han desarrollado varios polímeros para este servicio exigente. Du Pont ha desarrollado un polímero de ácido perfluorosulfónico (Nafion), mientras que Ashai emplea una membrana de capas múltiples de polímero de ácido perfluorosulfónico, recubierto por un lado con un polímero perfluorocarboxílico. Las celdas de membrana operan con una salmuera más concentrada y dan un producto más puro y más concentrado.

Las celdas de mercurio operan en forma muy diferente a como lo hacen las de otros tipos. Los ánodos siguen siendo de grafito, o bien de titanio modificado, como antes, pero el cátodo es una pileta fluida de mercurio.

La electrólisis produce una aleación de mercurio y sodio que no es descompuesta por la salmuera presente.

Japón prohibió el empleo de celdas de mercurio después de 1975 (plazo que se extendió hasta 1984) aunque se habían logrado reducciones importantes en el mercurio descargado, la fabricación de celdas de mercurio en Estados Unidos se detuvo abruptamente.

En la actualidad se utilizan con frecuencia en la industria las células de mercurio, principalmente debido a la facilidad de operación y al menor costo de producción.

Las ventajas y desventajas de estas tecnologías son las siguientes:

- Las Celdas de mercurio producen soda cáustica, de calidad "Rayón", sin necesidad de purificaciones posteriores.
  
- Las celdas de mercurio producen directamente soda cáustica de aproximadamente 50 % de concentración; en cambio, las celdas de diafragma producen soda de 12 -15 % y se requiere de una posterior concentración.

Las celdas con cátodo de mercurio ofrecen dos desventajas principalmente comparadas con las celdas de diafragma.

- Inversión Inicial muy alta en mercurio
  
- Trabajan con mayor voltaje

Analizando las diferentes ventajas y desventajas de producción de los diferentes tipos de celda, hemos decidido escoger la celda de diafragma, que es la más adecuada ya que se apega más a nuestras necesidades y requerimientos del mercado,

Las tecnologías para producir cloro-soda son sumamente conocidas y el know how es ofrecido por numerosas compañías.

A fin de tener una idea de la magnitud de la inversión necesaria para instalar una planta en el Ecuador se han solicitado cotizaciones de equipos y maquinaria a diferentes firmas de Europa, América y Asia.

## 2.2 TAMAÑO DE PLANTA

Para la determinación del tamaño de la planta se han hecho dos consideraciones; la primera es que la demanda de cloro gaseoso no es tan grande como la de soda cáustica en nuestro país, considerando que para nuestro proceso la producción de estos elementos es casi similar en cantidad..

Para este proyecto se considerará una planta con capacidad de producción de 150 Tn. por mes de cloro gaseoso, que es el consumo proyectado de nuestro mercado.

Además analizando las tablas de consumos del cloro gaseoso y soda cáustica podemos obtener una ecuación de comportamiento de la demanda, que para el cloro va a ser de  $y = 321.68 x + 1575.5$  y para la soda cáustica de  $y = 181.4x + 12655$ , como se podrá ver en las figuras 2.1 y 2.2 que se adjuntan, luego con las

ecuaciones podremos obtener la demanda de cloro y soda cáustica para los siguientes años.

GRAFICO No. 2.1

“TENDENCIA DE LA DEMANDA DE CLORO EN EL ECUADOR”

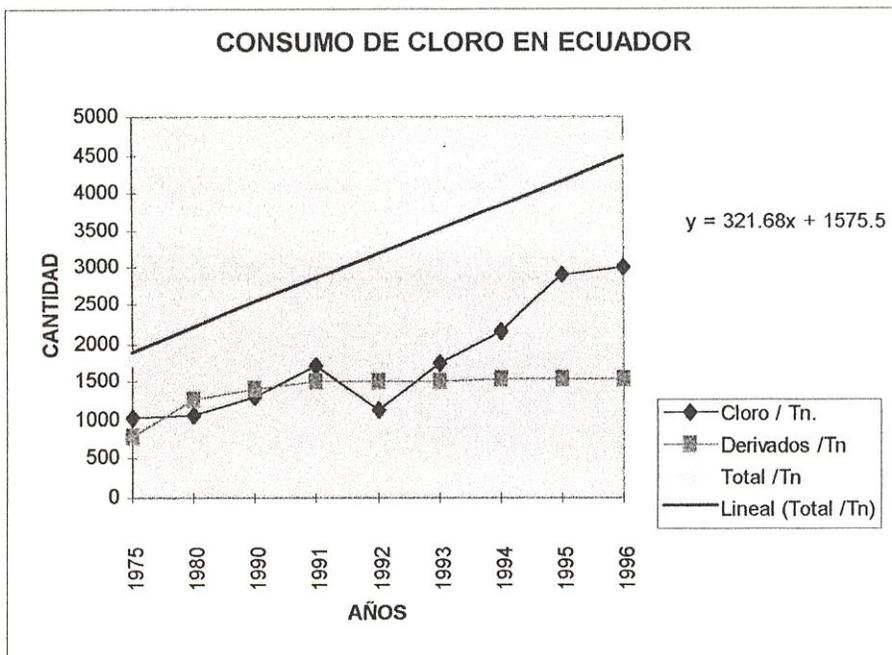
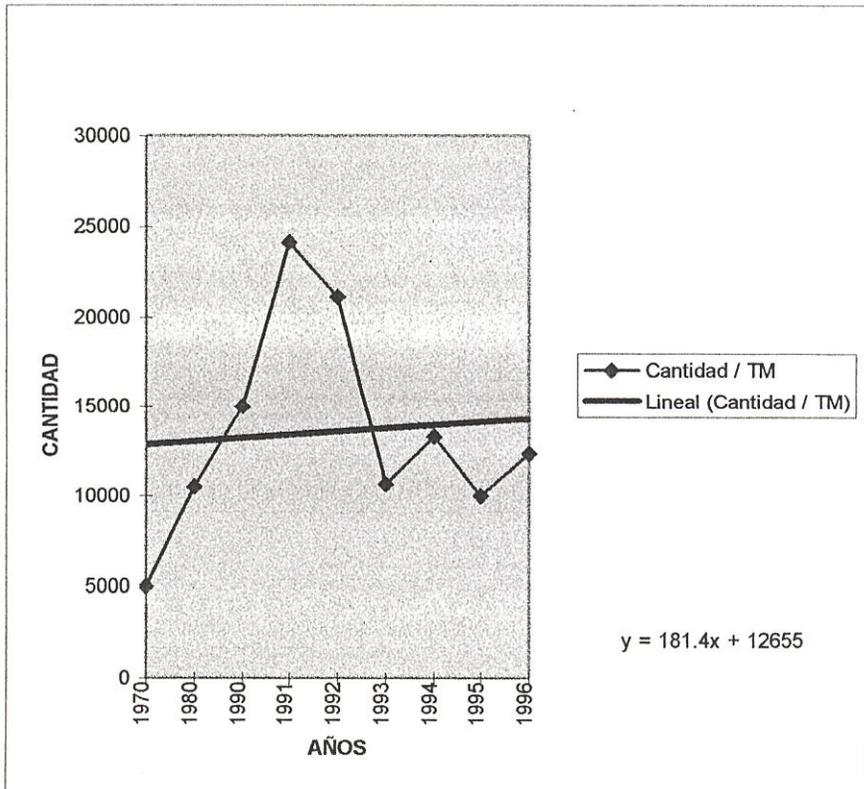


GRAFICO No. 2.2

**“TENDENCIA DEL COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO DE SODA CAUSTICA”**

## 2.3 DESCRIPCION DEL PROCESO

A continuación se presenta un ligero resumen del proceso de producción soda cáustica y cloro por la vía electrolítica utilizando celdas con cátodo de hierro.

### **Purificación de la sal**

La salmuera proviene de la evaporación solar del agua del mar. Es procesada en forma de solución saturada antes de pasar a las celdas. Para ello dicha solución se calienta y se pasa por varios tanques de purificación donde es tratada con carbonato de sodio y pequeñas cantidades de soda cáustica para extraer los compuestos de calcio, magnesio e hierro.

Después de la purificación, la sal se neutraliza con pequeñas cantidades de ácido clorhídrico.

### **Electrólisis**

La salmuera que se introduce en forma continuada a las celdas, se descompone parcialmente en un compartimento llamado "Electrizador" situado entre un ánodo de grafito y un cátodo móvil de hierro, en este lugar se forman gas cloro en el ánodo y amalgama de sodio en el cátodo.

La amalgama fluye de manera continua a un segundo compartimento en donde en contacto con agua forma gas hidrógeno y soda cáustica.

De la celda secundaria rebosa una solución de soda de gran pureza y con concentración entre 12 - 14 % de hidróxido sódico.

### **Secamiento y licuefacción del cloro**

El gas cloro que sale de las celdas se recoge en tubos colectores; dicho gas contiene además de vapor de agua, gotas finas de salmuera, algo de dióxido de carbono resultante de la deterioración del ánodo, aire e hidrógeno procedente de la reacción entre amalgama y el anolito.

La mayor parte del agua se separa enfriando el cloro, y la mayor parte de la sal se separa en esta misma operación.

A continuación se procede al secado de gas con ácido sulfúrico. La compresión del gas seco se hace en un rotor que gira dentro de un cubierta elíptica parcialmente llena de ácido sulfúrico.

El gas cloro pasa por separadores para retener el ácido sulfúrico arrastrado y va a un refrigerante condensador; el cloro se licúa enfriándolo entre 15 a 20 grados centígrados usando amoníaco, dióxido de carbono o freon como refrigerante.

### **Almacenamiento y embarque del cloro**

El cloro líquido resultante se almacena en recipientes a una presión efectiva entre 16 - 27 Kg/cm<sup>2</sup>, los recipientes deber ser probados a una presión mayor en un 70 % de la presión efectiva de almacenamiento.

### **Almacenamiento y embarque de la solución de soda cáustica al 12%**

El almacenamiento y en transporte de la solución de soda cáustica al 12% se efectúa en tanques cubiertos con pintura especial resistente al álcali de 20a 30 toneladas de capacidad, con aislamiento para evitar congelamiento o en tambores para usos en plantas pequeñas.

### **Hidrógeno gaseoso**

El hidrógeno producido se envasa directamente en cilindros, en el caso de que exista demanda de hidrógeno por parte de la industria petroquímica, caso contrario, el hidrógeno sería quemado con el cloro excedente y se convertiría en ácido clorhídrico, que mezclado con suficiente cantidad de agua quedaría listo para ser desechado, sin que por su grado de concentración cause problemas de carácter ecológico.

## **2.4 REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA E INSUMOS**

Por cada tonelada producida de soda al 100% se obtiene 0,80 toneladas de cloro gaseoso y 0,033 TM de hidrógeno.

TABLA No. VIII

**"REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA E INSUMOS"(2)**

ELEMENTO	Cantidad anual (Kg)
Cloruro de Bario	9360
Acido sulfúrico	30228 (gl)
Acido Clorhidrico	46800 (lt)
Cal	3000
Carbonato de Sodio	23880
Sal	2970000

**2.5 DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA Y ENERGIA****SAL**

La capacidad de producción de la industria salinera ecuatoriana es suficiente para abastecer la demanda de sal creada por la nueva planta, de la información recogida directamente en "Ecuasal" se puede concluir que es factible triplicar o cuadruplicar la producción actual aumentando el número de pozos dentro de las mismas áreas en uso, en caso de que sea factible el proyecto de cloro-soda.

c.- Facilidad y costo de transporte de las materias primas y productos terminados.

Después de hacer el análisis de estos factores se puede concluir lo siguiente:

- La empresa potabilizadora de agua potable del Guayas que es el principal consumidor de cloro gaseoso se encuentra situada en la ciudad de Guayaquil..
- El parque industrial que posee la ciudad de Guayaquil, es gran demandante de soda cáustica, principalmente para la industria de detergentes, jabones, embotelladoras y limpieza.
- Dentro de los acuerdos de complementación, la región sur de Colombia sería un mercado apropiado para el excedente de cloro gaseoso que podría tener el país.
- El transporte de la materia prima principal, la sal común, encarece los costos de producción, por lo que se debe pensar en elegir la fuente de abastecimiento más cercana posible.
- De acuerdo a estos factores, la ubicación para la planta sería Guayaquil.

## **CAPITULO 3**

### **"EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO"**

### 3. EVALUACION ECONOMICA

En este capítulo se trata de dar el enfoque económico del proyecto, para observar la viabilidad del mismo, y pueda ser implementado en un futuro.

Se analiza en este capítulo los diferentes costos operacionales que tiene el proyecto, tanto de personal, materia prima e insumos que se incurran en la implantación de este. Así como se analiza un cuadro que refleje un estado de resultados por un periodo de 10 años en la implantación , tomando como referencia una tasa de interés del 16 % en dólares que es la que actualmente está vigente en el mercado.

En estas tablas se estimará el escenario de los flujos netos de efectivo programados para el período antes mencionado, además de la Tasa Interna de Retorno del estudio y la rentabilidad de este.

Tomando como referencia el costo de los muebles, enseres, equipos y maquinarias a necesitar para el proyecto se hace una inversión económica que genera un costo financiero que tendrá que ser tomado en el estado de resultados y se aplicará una depreciación lineal para la maquinaria y equipos.

#### 3.1 COSTOS DE MATERIA PRIMA, INSUMOS Y MANO DE OBRA

Se estimará los costos operacionales que tenga el proyecto tomando como referencias los estudios realizados por los Señores Juan Carlos Sotomayor, Guillermo Paz y Joffre Pino quienes trabajan en temas relacionados a la obtención de gas cloro y soda cáustica A saber.

- Juan Carlos Sotomayor G. "Estudio del proceso de purificación de salmuera para obtención de gas cloro y soda cáustica".
  
- Guillermo Paz M. "Proceso de secado de cloro gaseoso y manejo de soda cáustica".
  
- Jofre Pino M. "Diseño de una celda electrolítica para producción de gas cloro y soda cáustica"

En las siguientes tablas se recogen todos los costos de materia prima e insumos que se requieren en los temas indicados para operar la planta a su capacidad normal, además se han realizado diferentes investigaciones en el mercado para cotizar los diferentes productos químicos que se van a necesitar y la posibilidad de que existan las cantidades necesarias para la producción de la planta.

Además se utilizarán como personal en la planta un ingeniero, supervisores, obreros y personal de administración tomando un factor del 44 % adicional destinado para carga social que tendrá este rubro.

Se han tomado los valores actuales de energía eléctrica y agua industrial, y convertido en dólares para hacer los respectivos cálculos.

Todos los rubros se encuentran en dólares norteamericanos para evitar tomar un factor por la inflación.

TABLA No. IX

## "COSTOS DE MATERIA PRIMA"(2)

M. PRIMA Y MATERIALES	CANTIDAD (kg)	PRECIO (USD\$ Unit.)	COSTO ANUAL (USD\$)
H2 SO4	30228(gl)	5,19	157020
Cl Ba	9360	2,22	20820
Cal	3000	0,06	216
H Cl	3900(lt)	0,4	18720
Sal	2970000	0,088	261360
Carbonato de Sodio	23880	1,8	42984
Total			501120

TABLA No. X

## "COSTOS DE INSUMOS"(2,3)

INSUMOS	CANTIDAD	PRECIO (USD\$)	COSTO ANUAL (USD\$)
Energia Eléctrica	20972 (Kw)	0,048	436932
Agua industrial	10800 M3	2,44	26352
TOTAL			463284

TABLA No. XI

**"COSTOS DE MANO DE OBRA Y PERSONAL"(7)**

PERSONAL	NUMERO	SALARIO (USD\$/AÑO)	TOTAL (USD\$/AÑO)
Cargas Sociales	44%		
Gerente	1	12000	17280
Contador	1	4800	6912
Operadores y supervisores	10	3000	43200
Electricista, mecánico	2	5000	14400
Jefe de planta	1	7000	10080
Guardianes	4	1200	6912
Vendedor	1	4800	6912
Secretarias	4	1800	10368
TOTAL			116064

**3.2 TASA INTERNA Y PERIODO DE RETORNO**

Existen tres formas de analizar si un proyecto es rentable, la primera es la de el cálculo de la tasa interna de retorno del proyecto, la segunda que es la de el cálculo del valor presente neto y la tercera que es el cálculo el valor anual equivalente, se aplicará para este proyecto la tasa interna de retorno.

La inversión total necesaria para la implementación de una unidad completa de cloro gaseoso y soda cáustica en base a un sistema de electrólisis a membrana es de US\$ 165.000 dólares. adicionando USD \$ 44.000 dólares para compra de montacarga, cilindros para almacenamiento de gas cloro, muebles , enseres, papeleria, teléfonos y equipos de oficina incluyendo 3 computadoras e impresoras. Además un 10 % de el costo de maquinaria y equipos para su instalación.

En el costo de \$ 165.000 dólares para el sistema de electrólisis incluye un equipo de purificación de salmuera (2), 7 celdas de membrana (4) y la torre de secado (3), así como de los materiales y aditamentos necesarios para su instalación.

Se han considerado gastos de mantenimiento, que será un 10 % del costo de equipos y maquinaria considerando que las membranas serán reemplazadas y los grafitos sufren desgastes, gastos de seguros e impuestos que serán un 15 % de la inversión, materiales auxiliares que serán 3 % de la inversión, gasto en laboratorio y costos indirectos de fabricación que será un 30% del rubro de personal y mantenimiento.

Para el proyecto hemos considerado gastos administrativos que será un 20 % del rubro de personal y mantenimiento, para la distribución y ventas del producto se ha considerado un 3 % del rubro de ventas totales.

En el cuadro también se puede apreciar un resultado operacional que es la resta de los costos de producción y el ingreso por ventas totales, el resultado antes de impuestos es la suma algebraica de el resultado operacional, el costo financiero y la depreciación, El costo financiero son los intereses que genera la inversión y además la depreciación anual, que para este caso será considerada lineal.

Luego se obtiene un resultado que es la utilidad neta que será el resultado antes de impuestos menos un 25 % destinado a pagar los impuesto a la renta y un 15 % de participación a los trabajadores

Se establecerá un flujo de caja que será el resultado de la suma del resultado después de impuestos y la depreciación, a continuación se calculará la Tasa Interna de Retorno.

A través de este cuadro y de los resultados obtenido se podrá concluir si este proyecto es factible económicamente, para que este proyecto sea viable tiene que tener una Tasa

Interna de Retorno mayor al interés que se utiliza para el cálculo que en este caso es del 16 % en dólares.

A continuación se observa 3 tablas, en los cuales se analiza diferentes escenarios que tendría este proyecto y sus diferentes resultados operacionales y financieros con sus respectivos flujos de caja.





CONTINUACION

TABLA N.º XII

10	Depreciación anual (lineal)		20500	20500	20500	20500	20500	20500	20500	20500	20500
11	Resultado antes de impuestos (8+9+10)	-58630	128451,6	123059,6	135667,6	139355,6	142883,6	146491,6	150099,6	153707,6	
12	Utilidad neta	-58630	81887,9	84188	86488,1	88839,2	91088,3	93388,4	95688,5	97988,6	
13	Flujo de caja (10+12)	-58630	102387,9	104688	106988,1	109339,2	111588,3	113888,4	116188,5	118488,6	
14	Flujo de caja acumulado	-284130	-181742	-77054,1	29933,99	139273,2	250861,5	364749,9	480938,4	599427	
16	TIR	28%									
17	Periodo de retorno	4									
18											

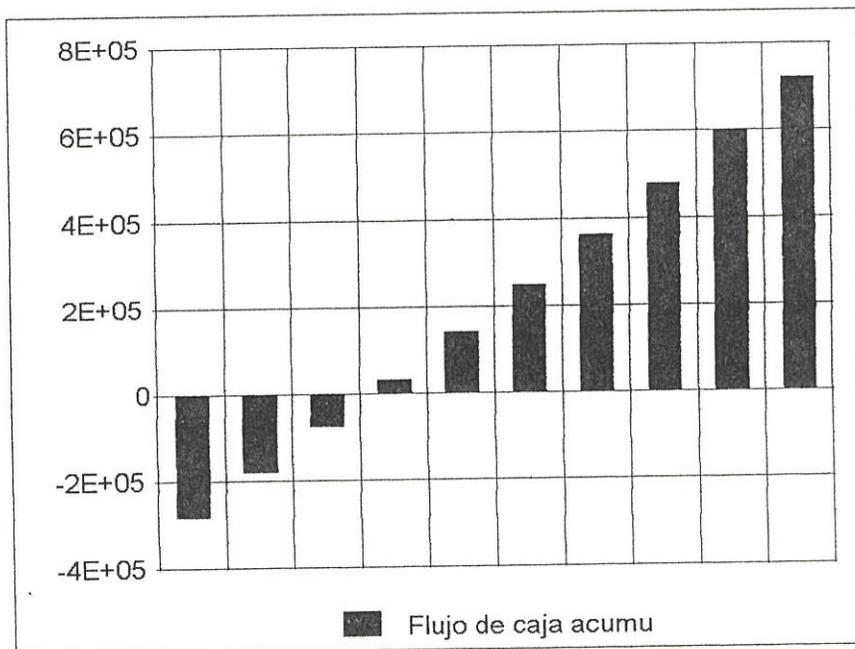


FIGURA 3.1

FLUJO ACUMULADO PARA ESCENARIO 1





## CONTINUACION

TABLA No. XIII

9	Costo financiero	-58630	-55022	51414	47806	44118	40590	36982	33374	29766
10	Depreciación anual (lineal)		20500	20500	20500	20500	20500	20500	20500	20500
11	Resultado antes de impuestos (8+9+10)	-58630	-303683	132059,6	135667,6	139355,6	142883,6	146491,6	150099,6	153707,6
12	Utilidad neta	-58630		84188	86488,1	88839,2	91088,3	93388,4	95688,5	97988,6
13	Flujo de caja (10+12)	-58630	-303683	104688	106988,1	109339,2	111588,3	113888,4	116188,5	118488,6
14	Flujo de caja acumulado	-284130	-587813	-483125	-376137	-266798	-155210	-41321,4	74867,07	193355,7
15	TIR	10,5 %								
	Periodo de retorno	8								

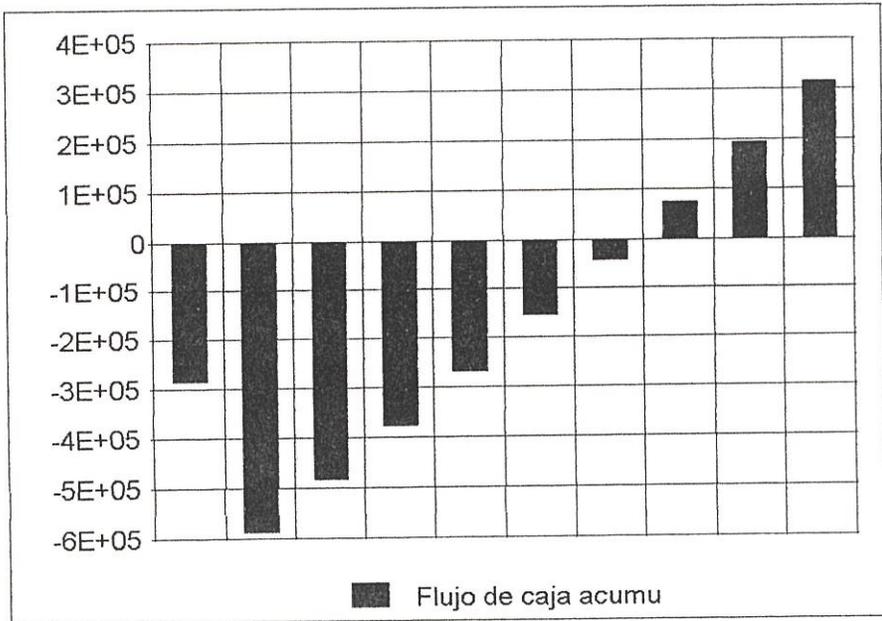


FIGURA 3.2

FLUJO ACUMULADO PARA ESCENARIO 2

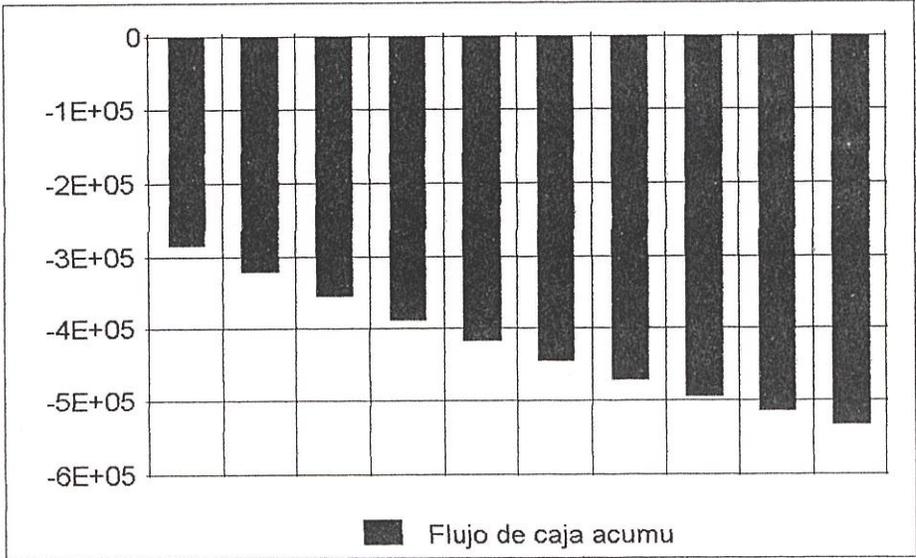




CONTINUACION

TABLA No. XIV

12	Utilidad neta	-58630	-57246,5	-54946,4	-52646,3	-50295,2	-48046,1	-45746	-43445,9	-41145,8
13	Flujo de caja ( 10+12 )	-58630	-36746,5	-34446,4	-32146,3	-29795,2	-27546,1	-25246	-22945,9	-20645,8
14	Flujo de caja acumulado	-284130	-320876	-355323	-387469	-417264	-444810	-470056	-493002	-513648



**FIGURA 3.3**

**FLUJO ACUMULADO PARA ESCENARIO 3**

### 3.3 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO

En este numeral se analiza las diferentes escenarios que se mostraron en los cuadros anteriores y se observa las diferentes situaciones que se presentan para cada resultado. Se entiende por escenario a un conjunto de situaciones que podrían presentarse en el futuro

En la tabla número XII vemos que si vendemos nuestros productos un 10 % menos que el precio de mercado para ingresar en este, veremos que la factibilidad económica es buena, y al final del cuarto año tendremos un flujo de caja acumulado positivo, con una Tasa Interna de Retorno del 28 % que es mayor que la tasa de interés del mercado, haciendo este proyecto rentable en terminos económicos.

En la tabla número XIII se presenta un escenario en el cual las ventas en el segundo año van a ser del 70 % de nuestra capacidad y los precios de nuestros productos van a ser de un 10 % menos que en el mercado, con lo cual vemos que el proyecto tendrá un flujo de caja acumulado positivo en el octavo año y la Tasa Interna de Retorno es del 10.5 % que es por debajo de la tasa de interés del mercado, así vemos que este proyecto no es rentable económicamente. Esto nos dice que la rentabilidad de la planta está íntimamente ligada a su capacidad de producción, y ventas, es decir que las ventas de nuestros productos tendrán que ser de un 100 % para alcanzar una rentabilidad adecuada.

En la tabla número XIV se presenta un escenario en el cual los precios de nuestros productos bajan un 20 %, debido especialmente a exigencias del mercado por parte de la competencia y nuestro proyecto ya no es rentable, esto quiere decir que el proyecto tiene relación directa con el precio en que se pueda vender los productos en el mercado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye lo siguiente:

1. El proyecto es factible económicamente, ya que luego del cuarto año tenemos flujo de caja positivos, la tasa interna de retorno es del 28 % que es mayor a la tasa de interés del mercado, que en la actualidad es del 16 % en dólares por lo cual este proyecto es una buena inversión.
2. El tamaño de planta se ha establecido será de 150 Tn. de cloro gaseoso y 187.5 Tn. de soda cáustica, con lo cual cubrirá en gran parte el mercado ecuatoriano.
3. Al realizar este proyecto el estado ecuatoriano ahorrará una gran cantidad de divisas que saldrían al exterior con el fin de importación de gas cloro y soda cáustica, mejorando la balanza comercial para nuestro país.
4. Al obtener nuestros productos en la ciudad de Guayaquil, tendremos una ventaja competitiva con relación a los importadores, ya que estos pueden tener algún problema en sus procesos de importación dando como resultado problemas de disponibilidad de estos.
5. La instalación de una planta de cloro gaseoso y soda cáustica por la vía electrolítica en nuestro país es necesaria, ya que representa una ventaja estratégica para las industrias potabilizadoras de agua y que en la actualidad carecemos, especialmente se vio demostrada cuando tuvimos conflictos bélicos con el Perú y estas industrias tuvieron muchos problemas con la importación de gas cloro para sus procesos.

## BIBLIOGRAFIA

1. GEORGE T. AUSTIN, Manual de procesos Químicos de la Industria, Mc. Graw Hill, editor, México, 1989, 314 p.
2. JUAN CARLOS SOTOMAYOR G., Estudio del proceso de purificación de Salmuera para obtención de gas cloro y soda cáustica, ESPOL, Guayaquil, 1998
3. GUILLERMO PAZ M., Proceso de secado de cloro gaseoso y manejo de soda cáustica, ESPOL, Guayaquil, 1998.
4. JOFFRE PINO M, Diseño de una celda electrolítica para producción de cloro gaseoso y soda cáustica , ESPOL, Guayaquil, 1998
5. OBSERVATORIO ECONOMICO DEL BANCO CENTRAL DEL ECUADOR
6. CENTRO DEL DESARROLLO INDUSTRIAL DEL ECUADOR, CENDES
7. CAMARA DE COMERCIO DE GUAYAQUIL, Boletín anual, Guayaquil, 1997
8. M.A. RANDOLFO ALVAREZ VEGA, Evaluación de proyectos de inversión, ITESM, México, 1997, 187 p.

