

2ej  
9



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

**ESTUDIO ECONOMICO-TECNOLOGICO  
DE LA PRODUCCION DE CIANURO  
DE SODIO EN MEXICO**

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

**DIRECTOR: D. C. RAFAEL HERRERA NAJERA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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 está 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.

## INDICE

		Página
1	Resumen.	1
2	Introducción.	2
3	Investigación.	5
3.1	Las importaciones de los productos químicos.	6
3.2	Comentarios del grupo selecto de productos.	16
3.3	Selección del producto químico.	25
3.4	Cianuro de sodio.	27
4	Parte teórica.	29
4.1	Capacidad de diseño del proceso.	29
4.2	Tecnología del proceso.	31
4.3	Ubicación de la planta productiva.	37
5	Procedimiento.	43
5.1	Diseño del proceso.	43
5.1.1	Balances de masa.	43
5.1.2	Balance de energía.	54
5.1.3	Diseño de equipo.	55
5.2	Análisis económico.	68
5.2.1	Costo de capital.	68
5.2.1.1	Efecto de la inflación.	69
5.2.1.2	Costos de instalación.	72
5.2.1.3	Facilidades auxiliares.	74
5.2.2	Costos de manufactura.	76
5.2.2.1	Capital total.	77
5.2.2.2	Costos directos de manufactura.	78

	Página
5.2.2.3 Costos indirectos de manufactura.	85
5.2.2.4 Depreciación.	86
5.2.2.5 Gastos generales.	87
5.2.3 Precio de venta.	88
6 Resultados.	92
7 Conclusiones y recomendaciones.	98
7.1 Estudio bibliográfico.	98
7.2 Estudio económico-tecnológico.	98
Apéndice 1 Propiedades físicas y químicas del Cianuro de sodio.	101
Apéndice 2 Memorias de cálculo del diseño de equipo.	102
Apéndice 3 Hojas de balance del proyecto.	130
Bibliografía.	139

## CAPITULO 1

### RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es el de determinar la viabilidad económica-tecnológica de un proyecto preliminar, para la instalación de una planta manufacturadora de un producto químico con una importancia estratégica atractiva para la industria mexicana.

El método utilizado para alcanzar este objetivo es aplicable en el ámbito industrial y comienza en el tercer capítulo con una investigación de necesidades de producción de materiales que contribuyan al desarrollo industrial de México. El Cianuro de sodio, como resultado de esa investigación, es señalado como uno de los productos que puede ser ventajosamente manufacturado en el país.

En el cuarto capítulo se especifican las bases teóricas en las que se fundamenta el estudio, mediante el cálculo de la capacidad de las instalaciones, la definición de la tecnología del proceso y de la ubicación de la planta.

El diseño del proceso y el análisis económico del proyecto, se plantean en el quinto capítulo para generar la información adecuada para la evaluación del estudio.

La siguiente parte contiene un análisis de flujo de capital, elaborado con los datos del análisis económico.

Finalmente, de los resultados del análisis de flujo de capital se concluye la viabilidad económica del proyecto y se emiten las recomendaciones del trabajo.

## CAPITULO 2

### INTRODUCCION

La ingeniería química juega un papel definitivo en el desarrollo de México, ya que abarca áreas tan importantes como la extracción y refinación del petróleo, desarrollo de procesos para la fabricación de nuevos productos químicos, ingeniería básica y de detalle, simulación, optimización y control automático de procesos químicos, entre otros.

Es innegable la necesidad que tienen todos los países, especialmente los que estamos en vías de desarrollo, de lograr los volúmenes adecuados de satisfactores a través de tecnologías propias. Puede asegurarse que prácticamente no hay satisfactor que no requiera de un proceso químico industrial para su preparación, como por ejemplo: en el vestido, las fibras sintéticas, tintes, etc.; en el calzado, curtientes, tintes, hules sintéticos, etc.; en los alimentos, conservadores, empaques, saborizantes y colorantes, etc.; en la vivienda, materiales de construcción, pinturas, recubrimientos, aislantes térmicos y acústicos; en el transporte, hules sintéticos, plásticos, pinturas, lubricantes, etc.

También es un hecho que México esta urgido de sustituir la importación de muchos de los mismos satisfactores necesarios para la producción. En este sentido, deben la investigación y el desarrollo tecnológico en ingeniería química desempeñar un papel vital en la búsqueda de un equilibrio económico del país.

En los últimos años se ha sentido una recesión económica en México que ha afectado irreversiblemente a muchas industrias, llegando incluso a tomarse la decisión de parar la producción temporal o definitivamente en algunas de ellas.

Si bien el efecto en otras industrias no ha sido tan dramático, lo que es evidente es que se ha modificado el actuar de los inversionistas, ahora son menos audaces que antaño y requieren de una investigación satisfactoria que facilite la toma de decisiones en cuanto a la inversión.

La investigación en ingeniería química aparte del aspecto puramente ingenieril, aborda aspectos económicos y de mercado en tal forma que constituye un paquete amplio de información, el cual es estudiado por los directivos de las empresas en la selección de las alternativas.

Investigaciones de este tipo tienen diversos grados de exactitud y precisión, estudiándose del más elemental al más complejo. El paso de una etapa a la etapa consecuente está regido en términos generales, por la salud económica que exhibe el proyecto durante la etapa en cuestión.

El alcance de este trabajo es el de manejar un estudio preliminar, consistente en reunir la información mínima necesaria que permita determinar la factibilidad del proyecto en el menor tiempo y al mínimo costo posibles.

El uso más común de los estudios preliminares es en la adaptación tecnológica de procesos, ampliación de plantas y, desafortunadamente en el menor de los casos, en la creación de nuevas instalaciones.

En este trabajo se presentan los siguientes estudios preliminares:

- i) La selección de un producto que sea básico en el desarrollo industrial de México y,
- ii) El estudio de la factibilidad económica de las instalaciones de una planta para la producción de dicho satisfactor.

La investigación de un producto químico que contribuya en forma -- directa al desarrollo industrial de México, tiene dos campos de estudio diferentes dentro de la Química Secundaria. Por una parte esta el campo de los materiales químicos que se deberían fabricar para satisfacer necesidades básicas y directas de la población. Y por otra parte están los materiales químicos que se destinan para cubrir las necesidades de otros procesos de manufactura de importancia relevante.

Cualquiera de los dos campos haría igualmente válido el estudio, - pero ante la necesidad de decidir por sólo uno por cuestión de simplificación, se tomó la segunda opción. Con esta elección en el enfoque - de la investigación, se pretende ofrecer una posibilidad de integración en México de una cadena productiva ya existente pero no completa, dentro de algún sector industrial importante, fortaleciéndose así su estructura.

Por último, tal vez es conveniente señalar que como se trata de un estudio preliminar, no se incluyen aspectos como la ingeniería de detalle de la planta, ni se emplean índices complejos de evaluación. Sin embargo, pretende ser un trabajo realista que sienta las bases para una investigación más detallada para la instalación de una planta de Cianuro de sodio.

## CAPITULO 3

### INVESTIGACION

La Industria Química Secundaria en México es una parte muy importante del sector industrial nacional. Su importancia se basa en la magnitud económica que posee y en el potencial de desarrollo que tiene.

Uno de los parámetros indicadores del grado de desarrollo industrial de un país es precisamente el grado de desarrollo de su industria química secundaria.

México es un país en vías de desarrollo, en el que es evidente la falta de una industria sólida de la Química Secundaria. No existe una plataforma productiva que contemple los múltiples puntos vitales de la industria, como por ejemplo, la producción de químicos intermedios necesarios para diversos procesos de manufactura que existen en el país.

Desafortunadamente para resolver este problema, se ha venido recurriendo a la importación de esos materiales y lógicamente la mayor parte de las veces a costos mayores a los que se tendrían con una producción local. Los altos costos de los productos importados no es por su precio de compra en sí, sino por el sobreprecio que se les agrega por conceptos tales como fletes y seguros de transportación, impuestos arancelarios por la importación, etc..

Por lo tanto, una forma de fortalecer esta parte de la industria es mediante la instalación y operación de procesos de manufactura que resulten ventajosos al inversionista nacional.

De todo lo anterior, se justifica una investigación de mercado con el objetivo de identificar un producto químico secundario cuya producción sea atractiva para México.

Para realizar esta investigación se fijaron ciertas condiciones que sirvieron de parámetros de definición y selección:

- i) El producto químico debe satisfacer una necesidad básica de otro -- proceso industrial instalado en México.
- ii) El producto químico no debe ser manufacturado en la actualidad en -- el país.
- iii) Las importaciones del producto químico deben de ser suficientemente grandes para justificar su producción en México.
- iv) La manufactura del producto debe ser realizada a través de un proce -- so de transformación químico y preferentemente basada en una tecno -- logía del conocimiento público, misma que se pueda adaptar a las -- condiciones del país.

### 3.1 Las importaciones de los productos químicos.

La importación de cualquier bien material se realiza a través de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFIN, para lo cual se -- utiliza la clasificación de grupos arancelarios según la naturaleza del material.

La clasificación genérica de las importaciones, así como su valor -- comercial a principios de esta década, se muestra en la Tabla 3.1 .

En la Tabla 3.1 se observa que el grupo más importante es el de las importaciones de la industria manufacturera, grupo que tiene numerosos -- subgrupos.

Los más notables subgrupos de la industria manufacturera están señã -- lados en la Tabla 3.2 .

TABLA 3.1 (\*)  
 Importaciones por grupos arancelarios.

<u>Grupo arancelario</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Importaciones totales	11,980	18,486	23,104
Agricultura y silvicultura.	810	1,871	2,166
Ganadería, apicultura, caza y pesca.	162	140	215
Industria extractiva.	241	256	257
Industria manufacturera.	10,559	16,003	20,259
Otros servicios.	8	16	16
Productos no clasificados.	200	200	191

(\*) Los datos estan expresados en millones de dólares. (1)

TABLA 3.2

(\*)

Las importaciones de la industria manufacturera.

Los seis subgrupos más importantes.

	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Productos metálicos, maquinaria y equipo.	6,208	8,826	12,032
Siderurgia.	1,126	1,824	2,126
Derivados del petróleo.	251	292	348
Productos plásticos y de caucho.	159	249	397
Petroquímica.	340	535	522
Química.	1,104	1,485	1,684

(\*) Los datos están expresados en millones de dólares. (1)

Los productos metálicos, maquinaria y equipo, se colocan fuera de la investigación por la condición (iv) del estudio. En el mismo caso se encuentra el subgrupo de siderurgia, por lo que también se elimina.

Los derivados del petróleo son competencia del Estado, por conducto de Petróleos Mexicanos, PEMEX, auxiliado por el Instituto Mexicano del Petróleo, IMP. Está fuera del alcance de este trabajo entrar en el campo de esos organismos, cuya capacidad es sobradamente conocida, por lo que este subgrupo también se excluye.

Dentro de los productos plásticos y de caucho, se encuentran los llamados hules naturales y sintéticos. Los hules de mayor consumo son el hule butilo, eleropreno, poliisopreno, poliisobutadieno y el polibutadieno. Todos estos productos se producen actualmente en México. Los restantes productos tienen una demanda muy pequeña y fueron eliminados como candidatos, según la condición (iii).

Los petroquímicos son productos que cumplen con las condiciones (i) y (iv), y por lo tanto fueron motivo de una revisión más cuidadosa. La Tabla 3.3 muestra los principales productos petroquímicos importados.

Los productos petroquímicos de la Tabla 3.3 se fabrican en el país, principalmente por PEMEX, a excepción del óxido de propileno y del poli propileno, para los que PEMEX tiene proyectos por 100,000 toneladas --- anuales, el primero en etapa de planeación y el segundo en etapa de --- construcción.

En 1969, a diez años de iniciada la petroquímica en México, se producían únicamente diez petroquímicos intermedios y su consumo aparente fué de 170,000 toneladas. Doce años después, en 1981, se produjeron más

TABLA 3.3  
 Importación de productos petroquímicos. (\*)

	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Productos petroquímicos.	340	535	522
Acetaldehído.	4	24	14
Acrilonitrilo.	14	9	9
Benceno y estireno.	40	50	34
Butadieno.	24	26	35
Butiraldehído.	17	11	4
Cloruro de vinilo.	20	27	37
Cumeno.	15	14	17
Dodecilbenceno.	13	21	17
Otros hidrocarburos aromáticos.	11	15	15
Oxido de etileno.	15	36	24
Oxido de propileno.	16	25	31
Polietileno.	60	163	145
Polipropileno.	47	52	82
Xileno.	29	39	36
Otros.	15	23	22

(\*) Los datos están expresados en millones de dólares. (2)

de veinte productos y su consumo aparente fué de 888,000 ton. todos con tasas de crecimiento elevadas. La mayoría de los intermedios se utilizan como monómeros o materias primas para polímeros (3).

En suma, también fué descartado el grupo de los petroquímicos, condición (11).

El grupo de los químicos es el último de los anotados en la Tabla 3.2 y abarca un gran número de subgrupos, también muy amplios.

La Tabla 3.4 contiene la descripción de estos productos.

Debido al potencial que ofrece este grupo, se exploraron con mayor detenimiento cada uno de esos productos.

Abonos para la agricultura. Este sector, vital para el desarrollo económico del país se encuentra en manos del Estado a través de FERTIMEX. Se producen en México los más importantes compuestos y las importaciones obedecen a la baja capacidad productiva con respecto a su demanda.

Aceites esenciales. Un gran número de compuestos constituyen esta fracción, cuyo volumen individual es muy reducido para una producción industrial justificable.

Antibióticos para la fabricación de productos farmacéuticos. La industria farmacéutica se encuentra en poder de empresas trasnacionales, que protegen en una forma muy cuidadosa los componentes de estos materiales. Dichas empresas por lo general, importan de sus filiales en otros países los componentes bajo nombres de patente. Esta situación los coloca fuera de la investigación.

TABLA 3.4 (\*)  
 Clasificación de los Productos Químicos importados.

	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Total, Productos Químicos.	1,104	1,485	1,684
Abonos para la agricultura.	82	95	156
Aceites esenciales.	15	18	17
Acidos y anhídridos orgánicos.	50	65	70
Alcoholes y sus derivados			
halogenados.	46	56	44
Antibióticos para la fabric.			
de productos farmacéuticos.	43	50	61
Celulosa en diversas formas.	24	33	34
Carbonato de sodio.	10	18	15
Caseína y sus derivados.	6	12	9
Cloro.	6	8	2
Colores y barnices de todas			
las clases.	30	36	48
Elementos químicos radioactivos.	36	49	3
Eteres y ésteres.	20	24	27
Extractos curtientes.	6	6	11
Fibras plásticas de origen			
no celulósico.	8	12	14
Fósforo en todas clases.	15	22	21
Hormonas naturales y sintéticas.	13	13	15

(continúa)

TABLA 3.4

Clasificación de los Productos Químicos importados. (\*)

	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>
Insecticidas y parasitidas.	14	20	18
Medicamentos y material de curación.	16	40	37
Mezclas y preparados para uso industrial.	182	222	266
Mezclas y preparados para la fabric. de productos farmacéut.	94	104	112
Papel y tejidos tratados químicamente.	20	29	35
Placas y películas diversas.	29	62	61
Preparados antidetonantes para carburantes.	13	25	44
Productos de perfumería.	18	31	36
Resinas naturales y sintéticas.	68	90	103
Sales orgánicas y organometálicas.	20	30	35
Sales y óxidos de aluminio.	28	32	39
Sales y óxidos inorgánicos.	31	38	39
Sosa cáustica.	12	34	42
Otros.	149	211	270

(\*) Los datos estan expresados en millones de dólares. (2)

Celulosa en diversas formas. Se produce en México celulosa de baja calidad, pero no la celulosa de alta calidad o  $\alpha$ -celulosa, de la cual no existen proyectos de fabricación. Se utiliza para fabricar rayón y acetato, mercado con altibajos en la actualidad, lo que ha obligado a su productor y monopolista, Celanese Mexicana, a restringir su producción de rayón y acetato. De ahí que la  $\alpha$ -celulosa sea por ahora un producto poco recomendable.

Carbonato de sodio. Compuesto de reconocida producción en México, aunque a una capacidad inferior a su demanda.

En el mismo caso, incumplimiento de la condición (ii), se encuentran la caseína y sus derivados, y el cloro.

Colores y barnices de todas clases. Existe una diversidad muy grande de estos productos, muchos de los cuales son fabricados en México, algunos a capacidad suficiente para satisfacer la demanda de nuestro mercado; como es el caso del bióxido de titanio y de los sulfoselenuros de cadmio. Los restantes se complementan con importaciones, o en algunos casos, se importan en su totalidad por los bajos volúmenes de demanda.

Elementos químicos radioactivos. Estos productos están fuera del alcance de la investigación.

Extractos curtientes. La importancia de estos materiales no es significativa, dado el volumen de sus importaciones. Su eliminación se soporta en la condición (iii).

Fibras plásticas de origen no celulósico. Las fibras se manufacturan - en México, importándose tan sólo un pequeño porcentaje por el mismo ma- nufacturador, Celanese Mexicana.

Mezclas y preparados para la fabricación de productos farmacéuticos. -- Estos materiales se eliminaron por encontrarse en una situación similar a la de los antibióticos.

Preparados antidetonantes para carburantes. El antidetonante para gaso- linas usado en México es el tetraetilo de plomo, fabricado por Tetraeti- lo de México S.A., empresa constituida por PEMEX y una trasnacional. - Se elabora a partir de cloruro de etilo, producto importado en su tota- lidad. La inexistencia de un manufacturador del cloruro de etilo es -- muy significativa por el hecho de que PEMEX para usarlo lo importe en - lugar de producirlo (elabora las materias primas requeridas). Esto es suficiente para no tomarlo en cuenta.

Productos de perfumería. Materiales de uso no prioritario para el país, su producción se coloca después de otros más trascendentales.

Resinas naturales y sintéticas. Las resinas de mayor uso y por consi-- guiente las más importantes, se fabrican en México, pero muchas de ellas a un nivel inferior a la demanda, por lo que se importan los complemen- tos. También se importan pequeños volúmenes de resinas especiales.

Sosa cáustica. El hidróxido de sodio se produce desde hace muchos años en México, pero siempre ha sido menor la oferta a la demanda, importán- dose el volumen necesario para satisfacer el consumo interno.

Los siguientes productos no cumplieron con el requisito (1) y ---- fueron eliminados del estudio:

Fósforo en todas sus formas.

Hormonas naturales.

Insecticidas y parasitidas.

Medicamentos y material de curación.

Papel y tejidos tratados químicamente.

Placas y películas diversas.

Mezclas y preparados para uso industrial.

Las fracciones que hasta este momento se ajustan en mayor forma a los lineamientos del estudio y que se observarán con mayor detenimiento son:

Acidos y anhídridos orgánicos.

Alcoholes y sus derivados halogenados.

Sales orgánicas y organometálicas.

Sales y óxidos de aluminio.

Sales y óxidos inorgánicos.

### 3.2 Comentarios del grupo selecto de productos.

El número de compuestos que constituyen los cinco tipos deducidos anteriormente es muy grande. Se comentarán sólo aquellos productos que representan mayor valor económico por el volumen manejado en el mercado nacional.

Los cinco tipos de compuestos se hayan incluidos en dos capítulos de fracciones arancelarias de los folios de importaciones de la SECOFIN,

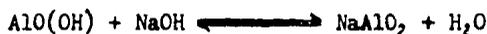
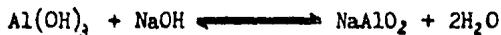
cuyos títulos son:

Capítulo 28. Productos químicos inorgánicos, compuestos inorgánicos u orgánicos de metales preciosos, de elementos radiactivos, de metales de las tierras raras y de isótopos.

Capítulo 29. Productos químicos orgánicos.

Los productos químicos cuya fracción arancelaria aparecen en estos capítulos y que se comentarán con mayor detenimiento, se muestran en la Tabla 3.5 junto con el volumen de sus importaciones de los cinco años más recientes de que se tiene conocimiento.

Oxido e hidróxido de aluminio. El óxido de aluminio o alúmina,  $Al_2O_3$ , es un compuesto cuyo mayor uso es en la producción de aluminio por hidrólisis, mediante el procesamiento de bauxita. La bauxita es un mineral natural con alto contenido de hidróxido de aluminio. El método más usado en el mundo para transformar la bauxita en alúmina es conocido -- como el proceso Bayer, el cual aprovecha la reacción que ocurre entre -- el trihidróxido y el hidro-óxido de aluminio, en solución acuosa, para formar aluminato sódico:



El aluminato sódico obtenido se hidroliza para formar trióxido de aluminio, el cual es finalmente calcinado a  $1,450^\circ K$  para transformarlo en -- alúmina anhidra.

El tipo de bauxita adecuada para el proceso, es la gibsita, cuyos yacimientos se encuentran en parte de los Estados Unidos, el Caribe, América Central, Sudamérica, África y Australia.

TABLA 3.5

(\*)

Los productos químicos de mayor volumen de importación.

	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>	<u>1983</u>
Oxido de aluminio.	74,767	87,790	104,796	158,731	122,157
Hidróxido de aluminio.	68,737	16,063	23,635	13,451	16,098
Pentóxido de vanadio.	278	253	309	145	253
Cianuro de sodio.	5,451	4,232	5,010	3,713	4,232
Tetraborato de sodio.	26,559	24,878	25,951	17,038	24,428
Carburo de silicio.	2,294	1,481	727	227	1,481
Tetracloroetileno.	7,602	8,237	12,184	15,939	8,237
Pentaeritritol.	3,855	3,245	4,864	3,769	3,245
Epiclorhidrina.	1,598	1,711	1,984	1,659	1,711
Butiraldehido.	31,934	19,172	6,798	3,622	19,172
2,4-diaminotolueno.	7,095	8,053	9,120	7,462	8,053
Glutamato de sodio.	2,655	3,369	4,130	2,658	3,369
Cianhidrina de acetona.	7,266	6,129	10,831	6,204	6,129
Hidrato de hidrazina.	367	352	410	374	351
Acido succínico.	3	66	22	2	66
Acido adípico.	1,322	1,716	1,776	1,182	1,716
Acido láctico.	305	458	456	657	458

(\*) Los datos estan expresados en toneladas.(4,5)

Desafortunadamente no hay recursos minerales de este tipo comprobados - hasta ahora en México, que pudiesen ser explotados por un proceso similar al Bayer con éxito.

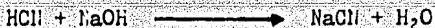
Pentóxido de vanadio. Es un compuesto de origen mineral, cuyo principal uso en México es para la fabricación de catalizadores; es importado por Catalizadores Mexicanos S.A..

Las procesadoras de pentóxido de vanadio, cuyo fin es elevar la pureza del mineral, se encuentran normalmente ubicadas junto a los yacimientos con el objeto de optimizar la economía del proceso. En México no existen yacimientos reconocidos de este mineral.

Cianuro de sodio. Es un sólido cristalino altamente tóxico, cuyo principal uso es en la industria minera, para la concentración de minerales de plata, plomo, zinc y cobre; así como en el proceso de cianuración -- para la extracción de metales preciosos como el oro y la plata.

Se emplea también en galvanoplastia para electrodepositar oro, plata, -- zinc y cobre; para el templado de acero y para manufacturar insecticidas fumigantes.

El proceso de producción del cianuro de sodio se conoce como Neutralización o Húmedo, donde cianuro de hidrógeno reacciona con una solución de hidróxido de sodio bajo condiciones de presión y temperatura estrictas.



No existe en la actualidad producción nacional de este químico a pesar de que la minería es una industria muy sólida, sobre todo la de la plata en la que México ocupa uno de los primeros lugares como productor a nivel mundial.

Tetraborato de sodio. Compuesto de origen mineral, con la fórmula  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , conocido como bórax. Se utiliza como fundente en la industria metalúrgica, entra en la composición de las soldaduras, para preparar compuestos para la ignifugación de la madera, en la preparación de esmaltes y otros usos más.

La obtención del bórax se basa en el procesamiento de minerales de alto contenido de boratos, como consecuencia de lechos secos de lagos y de formaciones naturales de origen marino. En México, según información de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, no existen recursos de boro, ni de sus minerales como los boratos, en cantidad comercial dentro del territorio nacional.

Carburo de silicio. Compuesto inorgánico, cuyo principal uso es para la elaboración de polvos abrasivos. La producción en México de este compuesto, no es suficiente para cubrir la demanda de la industria local por lo que se permite su importación.

Tetracloroetileno. Producto líquido incoloro, utilizado como solvente y como intermedio de otros compuestos, conocido también como percloroetileno. Es un compuesto elaborado por PEMEX a una capacidad inferior a la demanda del mercado consumidor. La carencia en la oferta se cubre con la importación del producto. PEMEX tiene proyectos de producción de percloroetileno por 16,000 toneladas anuales, con lo que se satisfará la demanda interna en su totalidad.

Pentaeritritol. Sólido cristalino, de fórmula  $\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$ , utilizado en la elaboración de resinas melamínicas, cuya producción esta autorizada a empresas del sector privado. Este producto es un caso más de oferta

inferior a la demanda, por lo que las importaciones se hacen forzosas - para cubrir el déficit.

**Epiclorhidrina.** Compuesto orgánico líquido a temperatura ambiente, también conocido como 1-cloro-2,3-epoxipropano o como clorometil oxirano. - La mayor parte de la epiclorhidrina fabricada se destina para la manufactura de glicerol y de resinas epóxicas. Pequeños volúmenes se usan en variadas aplicaciones tales como la síntesis de derivados del glicerol que a su vez se emplean para elaborar plastificantes, colorantes, - surfactantes, farmacéuticos, recubrimientos y adhesivos.

El proceso para producir la epiclorhidrina que se usa más comúnmente, - comienza con la cloración del propileno a altas temperaturas para dar - cloruro de alilo, el cual posteriormente es clorohidrinado, resultando en una mezcla de clorohidrinas de glicerol isoméricas. La mezcla es -- entonces dehidroclorada con un álcali, separándose la epiclorhidrina -- por arrastre de vapor y finalmente purificada por destilación.

Las necesidades de epiclorhidrina se satisfacen mediante su importación. Probablemente, por lo sofisticado que es su tecnología, no existe un -- productor en México.

**Butiraldehído.** Compuesto de consistencia líquida, utilizado en México para la manufactura de resinas sintéticas, cuya importación se haya en manos de la empresa Celanese Mexicana S.A., misma que además posee un - permiso petroquímico para producirlo (a una capacidad máxima de 16,500 toneladas). Esta situación, aunada al hecho de que tal empresa tiene - el monopolio de la producción de esas resinas, ponen un cerco para la - instalación de una planta productora de butiraldehído en el país.

2,4-Diaminotolueno. Importante químico industrial, conocido también -- como toluen-2,4-diamino, se emplea casi exclusivamente para la manufactura de toluen-diisocianato, principal materia prima de los poliuretanos flexibles y de elastómeros.

La producción del 2,4-diaminotolueno es un proceso largo que consiste en varias etapas. La primera de ellas es la nitración del tolueno en dos pasos. La segunda etapa es la hidrogenación catalítica del dinitrotolueno en diaminotolueno. La siguiente etapa es la deshidratación de la mezcla. La última etapa es la purificación del 2,4-diaminotolueno. La producción de espumas de poliuretano y elastómeros en México, se deben principalmente a la empresa Cydsa-Bayer, además posee un permiso -- petroquímico para producir hasta 12,000 toneladas anuales del 2,4-diaminotolueno. Es posible que la misma empresa sea la importadora de la -- mayor parte del químico que se hace, con el objeto de cumplir con su -- producción de resinas, significando que tiene cautivo el mercado principal de estos productos.

Glutamato de sodio. Producto orgánico, utilizado en la industria alimenticia como saborizante en la elaboración de sopas y salsas.

La empresa paraestatal Fermentaciones Mexicanas, anunció en 1985 la producción del glutamato monosódico con lo cual se eliminará su importación. Aún cuando no se ha comprobado el inicio de la producción, este proyecto viene a satisfacer una necesidad interna de oferta del producto.

Cianhidrina de acetona. Compuesto orgánico también conocido como 2-metilactonitrilo, es un importante pero venenoso intermediario químico. -- La cianhidrina de acetona es usualmente manufacturada y usada en el ---

mismo lugar, sin almacenarla. Este producto es la más importante cianhidrina y, desde 1978 representa el único medio comercial para obtener el ácido metacrílico y sus derivados, principalmente el metacrilato de metilo.

La producción de la cianhidrina de acetona se lleva a cabo mediante la reacción directa del cianuro de hidrógeno con acetona, catalizada por una base, usualmente hidróxido de sodio, en un proceso continuo de carácter exotérmico.

La demanda de este producto en México se abastece de la producción que hace la empresa Fenocimia S.A., gracias a un permiso petroquímico para 20,000 toneladas anuales y de las importaciones que hace.

Con la cianhidrina de acetona ocurre nuevamente el caso de que el único productor de un químico intermedio es además el líder productor del químico final, porque Fenocimia S.A. es el principal fabricante del metacrilato de metilo.

Hidrato de hidrazina. Producto orgánico que se utiliza como materia prima en la elaboración de varios productos. La hidrazina es altamente tóxica, por lo que su manejo debe ser hecho con mucho cuidado.

El hidrato de hidrazina se emplea en la fabricación de agentes espumantes para plásticos, de pesticidas agrícolas y de productos para tratamiento de aguas.

La producción de hidrato de hidrazina involucra la oxidación parcial del amoníaco (o urea) con cloro, hipoclorito de sodio o peróxido de hidrógeno. Existen cuatro procesos de manufactura de reconocida efectividad, los procesos de Rasching, Ketazine, Bayer-Ketazine y el de Urea, cada uno con condiciones de producción y reactivos diferentes. La elección

de alguno de ellos, requiere de un estudio completo de alternativas. -- No existe ningún productor de hidrato de hidrazina en México. Las necesidades del mercado mexicano se satisfacen mediante importaciones.

Acido adipico. También conocido como ácido hexanedióico o 1,4-butanodi-carboxílico, es de apariencia sólida cristalina y es el ácido dicarboxi-lico alifático más importante comercialmente hablando.

El principal uso del ácido adipico es en la manufactura de fibras y -- plásticos de ingeniería, elastómeros del poliuretano, ésteres y plasti-ficantes. También se usa en pequeñas cantidades en la industria alimen-ticia.

La manufactura del ácido adipico se hace predominantemente por medio -- del proceso de oxidación del ciclohexano en dos etapas. En la primera se oxida el ciclohexano, dando origen a una mezcla de ciclohexanona y -ciclohexanol. La segunda etapa consiste en la oxidación de la mezcla, para producir el ácido adipico.

La importación del ácido adipico satisface todas las necesidades del -- mercado nacional, al no haber ningún productor en el país.

Acido succínico. Producto químico también conocido como ácido butano--dióico y tiene amplio uso en una diversidad de industrias pero en muy -pequeñas cantidades, como la de agricultura, alimentos, medicinas, tex-tiles, cosméticos, fotografía y en otras más.

El ácido succínico es un subproducto de la manufactura del ácido adipi-co, y es la fuente de la mayor parte del material. Existen desde luego, otros medios para su producción y la elección del proceso depende de - las materias primas disponibles, costos de manufactura y tipo de tecno-logía.

El uso de este producto en México se haya muy reducido, razón por la -- que se importa en su totalidad.

Acido láctico. Conocido también con el nombre de 2-hidroxipropanoico o 2-hidroxipropiónico, es un material que existe en forma natural.

El principal uso que tiene este material es en la elaboración de productos farmacéuticos y en alimentos.

El ácido láctico puede ser manufacturado por medio de fermentación o -- por vía sintética; ambos métodos son de valía comercial. Cualquiera de los métodos de producción requiere de una tecnología sofisticada, cuya elección requiere de una cuidadosa evaluación de alternativas para obtener un producto de alta pureza y costo competitivo.

Todo el consumo de ácido láctico en México se hace a través de su importación porque no existe un productor reconocido en el país.

### 3.3 Selección del producto químico.

Con base en los comentarios acerca de los compuestos de la Tabla - 3.5, se hace la selección de aquél que cumple mejor con las cuatro condiciones de esta investigación preliminar.

La condición (i) es cumplida por todos los compuestos comentados, por lo que este criterio no permite la reducción del grupo.

La condición (ii), que indica una producción reconocida en el país, elimina al carburo de silicio, el tetracloroetileno, el pentaeritritol, el butiraldehído, el 2,4-diaminotolueno, el glutamato de sodio y la --- cianhidrina de acetona.

La condición (iii) requiere de un estudio económico previo para -- obtener una conclusión satisfactoria.

La condición (iv) la cumplen todos los compuestos, en menor o --- mayor grado.

Otro criterio de selección es la disponibilidad de materias primas para la producción del material. La total falta de materias primas impediría la instalación de un proceso para el óxido e hidróxido de alumi nio, el pentóxido de vanadio y el tetraborato de sodio.

Los compuestos resultantes son:

Cianuro de sodio.

Epiclorhidrina.

Hidrato de hidrazina.

Acido succínico.

Acido adípico.

Acido láctico.

Para hacer la selección final, se tiene que aplicar un criterio -- adicional. La importancia económica relativa en el grupo, representada por el valor de los volúmenes importados de esos productos, permite -- otorgarles una clasificación definida.

De lo anterior, se eligió al cianuro de sodio como el compuesto -- que cumple en mejor forma con las siguientes condiciones:

- i) Satisface una necesidad básica en la industria minera, cuando --- menos.
- ii) No existe un productor reconocido, en la actualidad, de cianuro de sodio en el país.
- iii) El volumen de las importaciones resulta atractivo para hacer una -

evaluación económica de su producción en México.

- iv) El proceso de producción involucra, en su primera revisión, una -- tecnología no muy compleja.
- v) Se producen en México las materias primas del proceso de produc--- ción.

La producción de cianuro de sodio en México significaría:

- vi) La eliminación de la salida de divisas que actualmente sucede con la importación del producto.
- vii) La consolidación de la industria minera nacional, al depender --- menos de recursos del extranjero.
- viii) El mercado consumidor no se limitaría a sólo una empresa, sino a - todo un sector, con expectativas favorables de crecimiento.

Por consiguiente, un producto químico secundario que resulta conve niente estudiar tecnológicamente y económicamente es el Cianuro de sodio.

### 3.4 Cianuro de sodio.

Las transacciones comerciales del Cianuro de sodio en México, esto es, el valor de las importaciones de los últimos cuatro años, consoli-- dados por la Secretaría de Programación y Presupuesto, SFP, se indican en la Tabla 3.6 .

La importación total de Cianuro de sodio esta valorada CIF, es --- decir, incluye el valor de compra del producto en el lugar de proceden-- cia, más el importe de los fletes, los seguros y demás gastos incurri-- dos para transportarlo a la frontera mexicana, antes del pago de aran-- celes.

El costo del Cianuro de sodio puesto en la planta consumidora en México, será entonces, el valor CIF más los aranceles que le corresponden. Para 1986 el costo unitario del Cianuro de sodio se estima que -- será superior a \$ 1.60 USA, valor que aún no incluye los aranceles.

TABLA 3.6

Valor de las importaciones del Cianuro de sodio en México. (4,5)

<u>Año</u>	<u>Cantidad (ton)</u>	<u>Valor comercial (k\$ USA)</u>	<u>Valor CIF (k\$ USA)</u>
1980	3,307	3,416.40	3,918.30
1981	3,915	4,695.80	5,284.30
1982	2,902	3,850.50	4,340.30
1983	3,307	3,420.60	3,923.00

## CAPITULO 4

### PARTE TEORICA

El proyecto de producción de Cianuro de sodio tiene sus cimientos en tres conceptos básicos que deben ser apropiadamente definidos antes de hacer el diseño del proceso y la evaluación económica preliminares:

- i) La capacidad de diseño del proceso.
- ii) La tecnología del proceso.
- iii) La ubicación de la planta productiva.

Por tal motivo, en este capítulo se presenta la definición de cada uno de estos principios.

#### 4.1 Capacidad de diseño del proceso.

Las plantas químicas industriales tienen un tiempo de vida promedio definido generalmente por la depreciación fijada a sus instalaciones. El tiempo de vida contable se establece como norma usual, en diez años.

Tomando la vida media del proceso en diez años, la capacidad de diseño del mismo se determinó con la demanda esperada del Cianuro de sodio al término de esos diez años. Con la capacidad de diseño calculada de esta forma se podrá satisfacer al mercado nacional totalmente durante el periodo de vida útil de las instalaciones.

La proyección de la demanda se hizo empleando la información de las importaciones del Cianuro de sodio realizadas en los últimos veinte años, Tabla 4.1 .

TABLA 4.1

Demanda real de Cianuro de sodio  
expresada al 100 % de concentración. (4,5,8)

<u>Año</u>	<u>Demanda (ton)</u>
1960	1,886
1961	1,297
1962	1,444
1963	1,890
1964	1,816
1965	1,350
1966	2,294
1967	2,425
1968	2,714
1969	3,080
1970	2,995
1971	2,932
1972	2,679
1973	3,035
1974	3,724
1975	2,360
1979	4,260
1980	3,307
1981	3,915
1982	2,902
1983	3,307

El método de proyección de la demanda utilizado fué la regresión lineal de los datos de la Tabla 4.1, resultando un coeficiente de regresión de 0.915 .

El periodo para el cual se proyectó el comportamiento de la demanda del Cianuro de sodio fué de diez años, contados a partir de 1986, y mostrado en la Tabla 4.2 .

La demanda esperada para 1996 se estima en 6,000 toneladas, cantidad que deberá ser producida por las instalaciones del proyecto, por consiguiente:

Se propone que la capacidad de diseño de las instalaciones productivas de Cianuro de sodio contemplada en el proyecto sea de 6,000 toneladas anuales del producto al 100 % de concentración.

El proceso, sin embargo, no operará al 100 % de su capacidad desde el arranque sino que producirá el volumen necesario para satisfacer el mercado nacional. Con esto, se supone que toda la producción anual --- elaborada por la planta será captada por el mercado en el mismo año de producción y que no se atenderá inicialmente ningún mercado de exportación. Por lo tanto, la producción anual que se espera del proyecto es la indicada en la Tabla 4.2 , considerando que el arranque de la producción será en 1987.

#### 4.2 Tecnología del proceso.

La producción de Cianuro de sodio en el contexto mundial, se hace desde la década de los sesenta a través de un método general llamado -- Proceso Húmedo o Proceso de Neutralización, en el que se hace reaccionar

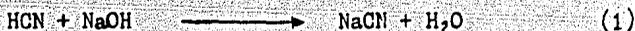
TABLA 4.2

Pronóstico de la demanda de Cianuro de sodio en México  
expresada como producto al 100 % de concentración.

<u>Año</u>	<u>Demanda esperada (ton)</u>
1986	4,800
1987	5,000
1988	5,100
1989	5,200
1990	5,400
1991	5,500
1992	5,600
1993	5,800
1994	5,900
1995	6,000

ácido cianhídrico directamente con hidróxido de sodio. La reacción es exotérmica y de no controlarse las condiciones de reacción, el Cianuro de sodio puede descomponerse en carbonato de sodio o en formiato de --- sodio.

El conjunto de reacciones del sistema es el siguiente:



La reacción (1) es la reacción principal del proceso y la única -- deseable.

Por la conveniencia de manejar las materias primas en la forma más económica y segura posibles, la reacción (1) se lleva a cabo en solución acuosa. Sin embargo, el Cianuro de sodio es una sal altamente --- hidrolizable en solución acuosa (véase Apéndice 1), a temperatura am--- biente. La hidrólisis supone el equilibrio



Este equilibrio se presenta en el proceso desde el momento de la -- formación del Cianuro de sodio; puede ser desplazado hacia la izquierda como lo indica la reacción (1), controlando el pH y la temperatura de -- la solución. Fijando un pH alcalino siempre que el Cianuro de sodio se encuentre en solución, se obtienen los resultados esperados considerando que la reacción involucra una base fuerte y un ácido débil.

El sistema, por la participación de la sosa cáustica tanto como -- reaccionante como estabilizador, es de tipo ternario  $\text{NaCN-NaOH-H}_2\text{O}$  .

El sistema ternario es altamente dependiente de la temperatura, -- por lo cual, para definir con exactitud cada etapa del proceso es necesario fijar la concentración del Cianuro de sodio y del hidróxido de sodio así como la temperatura (y por ende, la presión del sistema).

La reacción (2) es endotérmica, teniendo una temperatura de iniciación de 323'K a 1 atm. de presión. Las condiciones del reactor deberán ser, una temperatura inferior a 323'K y 1 atm. de presión con una alcalinidad de 1.0 % en peso de NaOH.

La concentración de NaCN en el reactor debe ser inferior al 45 % - en peso para evitar su precipitación e incrustar el equipo; además el reactor debe ser CSTR para mantener homogénea la concentración de la -- mezcla reaccionante y eliminar el calor generado eficientemente.

En la cristalización del Cianuro de sodio, la temperatura se eleva a 328'K. Para evitar su descomposición se baja la presión a menos de - 60 mm Hg absolutos además de elevar la concentración de NaOH a 1.5 %. El tamaño promedio de los cristales aquí formados es de 80  $\mu$ m mínimo, - para lo cual debe emplearse un cristalizador de circulación forzada --- tipo DTB.

El tamaño de los cristales obliga a que el separador empleado para extraerlos del concentrado efluente del cristalizador sea del tipo centrífugo.

La humedad restante se elimina por medio de una etapa de secado. - Esta etapa involucra la adición de calor sin provocar la descomposición del Cianuro de sodio, según lo indicado por la reacción (2). El equipo más recomendable para esta operación es un secador neumático, que realiza el secado de los cristales adiabáticamente y en un ciclo de unos ---

cuantos segundos. Para que el secador neumático sea efectivo, la humedad inicial de los cristales debe ser inferior al 6 % en peso. La temperatura involucrada en esta etapa debe ser inferior a 380° K.

Para poder manejar a los cristales en una forma práctica y segura, se compactan en gránulos de 5 mm. de tamaño aproximadamente por medio de una prensa de rodillos.

El cribado de los gránulos asegura un tamaño constante del producto, recirculándose el material rechazado a la prensa de rodillos.

El producto final se envía a la tolva de empaque por medio de un transporte neumático para ser empacado en cuñetes o tambores apropiados.

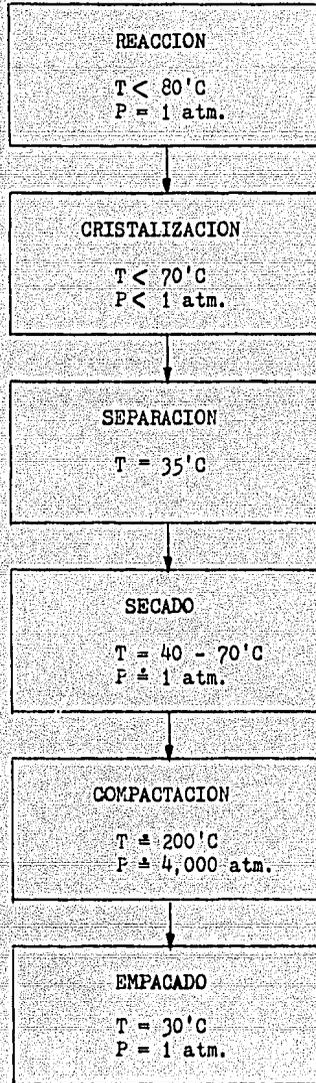
Las materias primas deben ser de elevada pureza. Cualquier traza de fierro o de óxido de níquel en las corrientes de proceso, ya sea --- debidas al equipo o a las materias primas, catalizarán la oxidación del Cianuro de sodio, primero a cianato de sodio reacción (3) y enseguida a carbonato de sodio reacción (4). Por ello, los equipos y sobre todo -- las partes en contacto con las corrientes de proceso deben ser de acero inoxidable, preferentemente tipo 304-L.

Estas condiciones preliminares de proceso, fisicoquímicamente aceptables, permitirán realizar el estudio sin ambigüedades y, de resultar plausible apoyarían la realización de estudios experimentales para --- confirmar o corregir las aquí propuestas.

Una alternativa sería recurrir a una de las patentes que existen - en diversas partes del mundo a favor de empresas como E.I. du Pont de - Nemours & Co., Monsanto Chemical Co. y BASF A.G., entre otras, las ---- cuales tienen sucursales en México y podrían dar la pauta para la reali- zación del proyecto que se presenta.

FIGURA 4.1

Diagrama de bloques del proceso de manufactura  
de Cianuro de sodio.



Como uno de los objetivos del proyecto es el procurar una tecnología preliminar propia, se hará caso omiso de las patentes aunque se reconoce la valía de la información de conocimiento público registrada -- en la bibliografía especializada. Además, en las patentes, la información esta debidamente protegida y no se puede tener acceso a ella a --- menos que se pague por su uso, situación fuera de lugar de este trabajo.

El proceso antes delineado se muestra en forma de diagrama de bloques en la Figura 4.1. Dicho diagrama será la base para el diseño del proceso (Capítulo 5).

#### 4.3 Ubicación de la planta productiva.

La ubicación de la planta de manufactura de Cianuro de sodio, re-- quiere de la evaluación de zonas geográficas de México, con base a:

- 1) Suministros de materias primas.
- ii) Consumo del producto.
- iii) Infraestructura suficiente para el establecimiento de una nueva -- industria.

Las materias primas que se utilizan en el proceso son el ácido -- cianhídrico y el hidróxido de sodio.

El ácido cianhídrico tiene su único productor en PEMEX, con dos -- plantas actualmente en producción y tres plantas más en proyecto. La -- ubicación y situación actual de esas plantas se muestran en la Tabla 4.3.

La oferta de ácido cianhídrico ha sido hasta ahora, inferior a la demanda del mercado nacional, situación que ha obligado a permitirse la

TABLA 4.3

Procesos de ácido clorhídrico a cargo de FENEX. (9)

<u>Ubicación</u>	<u>Capacidad nominal</u>	<u>Situación actual</u>
Cosoloacaque, Ver.	3,750 ton/año	En producción, desde 1971.
Tula, Hgo.	6,250 "	En producción, desde 1979.
San Martín Texmelucan, Pue.	7,500 "	En construcción.
Morelos, Ver.	7,500 "	En construcción.
Ciudad Madero, Tamps.	7,500	En ingeniería.

TABLA 4.4

Principales productores de hidróxido de sodio en México. (10)

Industria Química del Istmo S.A.	Complejo Pajaritos, Coatzacoalcos, Ver.
Cloro de Tehuantepec S.A.	Complejo Pajaritos, Coatzacoalcos, Ver.
Fertilizantes Mexicanos S.A.	Varias en el país.
Penwalt S.A. de C.V.	Santa Clara, Edo.Mex.
Penwalt del Pacífico S.A. de C.V.	El Salto, Jal.

importación de los volúmenes faltantes. Sin embargo, al entrar en operación las nuevas plantas de FEMEX, la capacidad total instalada será suficiente para cubrir las necesidades de ácido cianhídrico en el país, actuales y a futuro, incluyendo los requerimientos de este proyecto.

El hidróxido de sodio es manufacturado por empresas tanto de capital privado, como de capital público. Los principales productores de sosa cáustica, así como su ubicación, se indican en la Tabla 4.4 .

Una primera investigación acerca de la pureza del hidróxido de sodio, revela que el más conveniente para el proyecto es el producido por Industria Química del Istmo S.A., perteneciente al grupo de Industrias CYDSA. No obstante, es recomendable hacer un análisis de calidad para elegir al producto más adecuado.

El Cianuro de sodio tiene como consumidor a los procesadores de minerales de oro, plata, plomo, zinc y cobre. Conocer a los consumidores precisos de Cianuro de sodio sería una tarea muy laboriosa, por la gran cantidad de empresas de procesamiento de estos minerales que existen en México. En lugar de ello, en la Tabla 4.5 se muestran las zonas geográficas con mayor producción de oro, plata, plomo, zinc y cobre, -- las cuales serían las zonas potencialmente consumidoras del químico en el estudio.

La Tabla 4.5 señala que el norte del país, es donde se hallan los mayores productores de los cinco metales nombrados, zona que por lo tanto será marcada como el mercado potencial del proyecto.

TABLA 4.5

Producción de oro, plata, plomo, zinc y cobre, totalizada por zona geográfica, anotada por orden de importancia, de 1981. (7)

<u>Estado</u>	<u>Producción totalizada (ton)</u>
Aguascalientes.	234,925
Sonora.	213,157
Chihuahua.	179,252
Zacatecas.	56,008
Guerrero.	35,891
San Luis Potosí.	28,421
Durango.	22,357
Hidalgo.	21,480
Coahuila.	10,780
Jalisco.	5,712
Michoacán.	5,223
Querétaro.	4,914
Baja California Sur.	1,495
Sinaloa.	668
Guajalajara.	400
México.	335
Tamaulipas.	314
Morelos.	264
Nuevo León.	128
Puebla.	87
Oaxaca.	82
Nayarit.	24

Un factor determinante en la elección de la ubicación donde se --- instalaría el proceso es el suministro de las materias primas.

El hidróxido de sodio, ya sea que se use la presentación en forma sólida o como solución al 50 % (probablemente esta última), se suministraría por transporte terrestre. Se requieren por lo tanto vías de --- acceso adecuadas.

En el caso del ácido cianhídrico, PEMEX tiene establecido que los suministros de este producto deben ser hechos a través de tubería directamente desde sus instalaciones.

Para los servicios como energía eléctrica, agua y teléfono, se --- debe contar con la infraestructura industrial necesaria.

La elección del lugar esta por lo tanto, marcada por los centros - productores del ácido cianhídrico. De esta forma se deduce que una de las cinco localidades que aparecen indicadas en la Tabla 4.3 será la -- seleccionada.

Tula y San Martín Texmelucan, por su proximidad con la zona metropolitana, presentan problemas para ubicar empresas nuevas, como son per misos y licencias difíciles de obtener y el no otorgamiento de incentivos fiscales.

Cosoloaque y Morelos, en Veracruz, resultan con mayores promesas en el aspecto legal y estan más cerca del suministro de la sosa cáustica, pero se ubicaría muy lejos de los centros de consumo.

Ciudad Madero, en Tamaulipas, por otra parte estaría cerca del --- mercado del producto, ofrecería algunas ventajas fiscales y legales, -- pero se ubicaría lejos del proveedor de la sosa.

Evaluando los pros con los contras, se llegó a concluir en base a que este trabajo, de resultar atractivo, antecederá a una investigación de mayor detalle , lo siguiente:

La localidad más adecuada para los fines que persigue el estudio - es la de Ciudad Madero, Tamaulipas, por encontrarse cerca del complejo petroquímico que producirá el ácido cianhídrico necesario, en la zona - norte del país, mercado potencial del producto, de disponer de la suficiente infraestructura industrial y de adecuadas vías de comunicación terrestres, aéreas, telefónicas y telegráficas. Con el hidróxido de -- sodio se debe asegurar su suministro mediante un acuerdo formal con el productor.

## CAPITULO 5

### PROCEDIMIENTO

Una vez definidos los principios sobre los que se soporta el estudio, en este capítulo se desarrollan el diseño del proceso y el análisis económico que permitirán determinar la viabilidad del proyecto.

El diseño del proceso esta constituido por los balances de masa y de energía del sistema y por el diseño del equipo principal involucrado.

El análisis económico comprende la evaluación del costo de capital, del costo de manufactura y del precio de venta del Cianuro de sodio.

#### 5.1 Diseño del proceso.

La información mínima necesaria para caracterizar al proceso se muestra a continuación, referida al diagrama de flujo de proceso de la Figura 5.1 .

##### 5.1.1 Balances de masa.

Las premisas para los balances de masa son:

- i) Capacidad neta = 6,000 ton/año de NaCN, al 100 % de pureza.
- ii) Tipo de operación = Continua.
- iii) Tiempo perdido controlable y no controlable = 20 días/año.
- iv) Tiempo disponible = (365 días/año) - (20 días/año)  
= 345 días/año  
= 8,280 h/año.

v) Eficiencia del proceso:

\* por pérdidas de material por su manejo durante el mismo, (6)

$$= 99.6 \%$$

\* por la descomposición del NaCl en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y en  $\text{HCOONa}$ , (6)

$$= 99.8 \%$$

\* global =  $(0.996) \times (0.998)$

$$= 99.4 \%$$

vi) Pureza final del producto = 98.0 % mínima.

La producción instantánea del NaCN, al 100 % de capacidad será

$$\frac{6 \times 10^6 \text{ kg/año}}{8,280 \text{ h/año}} = 724.6 \text{ kg/h}$$

Y una producción bruta de

$$\frac{724.6 \text{ kg/h}}{0.994} = 729 \text{ kg/h}$$

Los balances de masa de cada una de las corrientes de proceso, --- comienzan con la consideración de la reacción principal:



para hacer la tabla del consumo de materias primas

<u>Material</u>	<u>Peso Molecular</u> (g/g mol)	<u>Flujo Molar</u> (kmol/h)	<u>Flujo Másico</u> (kg/h)
NaCl	49	14.88	729.0
HCN	27	14.88	401.7
NaOH	40	14.88	595.1
H <sub>2</sub> O	18	14.88	267.8

Para que los balances tengan fundamentos sólidos es necesario ---- establecer las siguientes proposiciones:

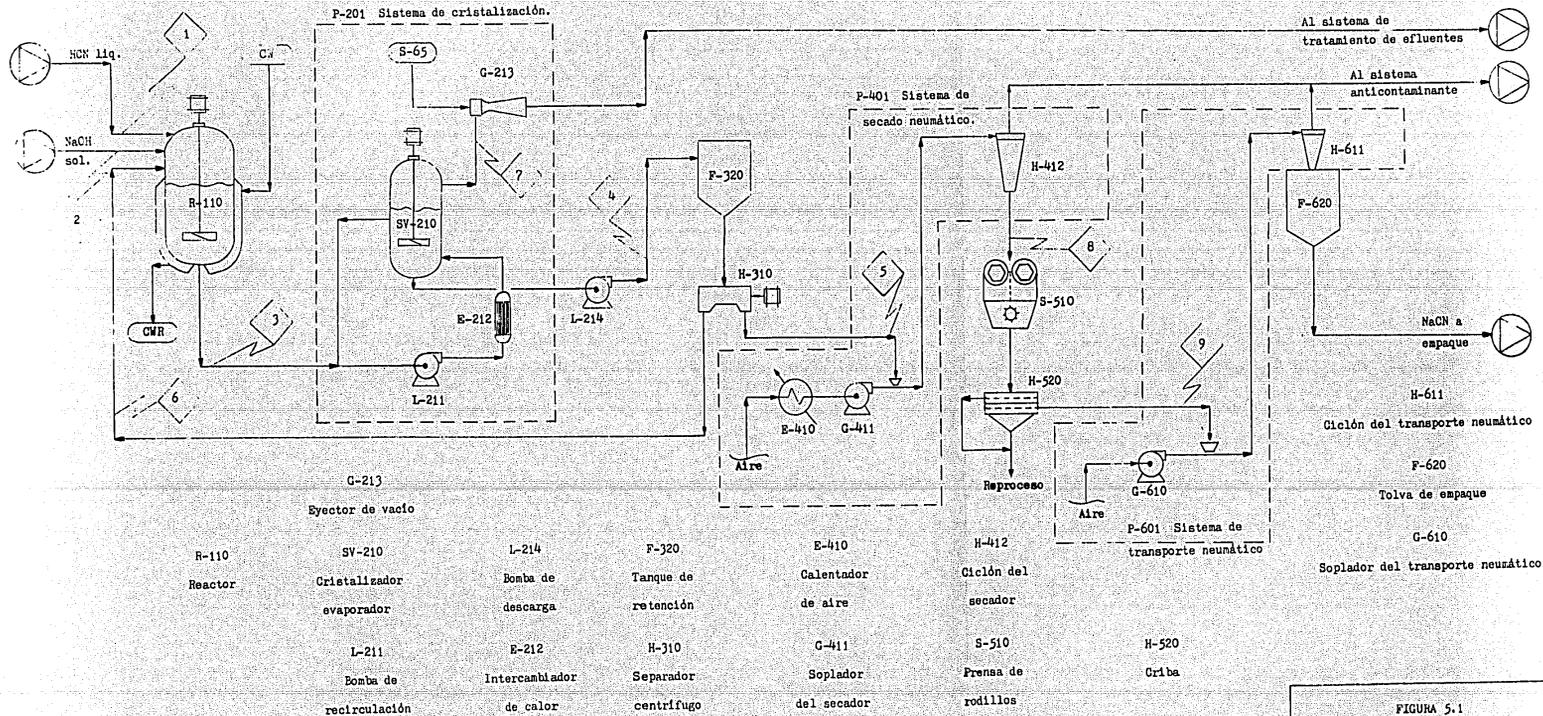


FIGURA 5.1  
Diagrama de flujo de proceso.

Proposición 1

Las materias primas utilizadas en el proceso son las disponibles - por los productores nacionales, el HCN proporcionado por PEMEX y el --- NaOH fabricado por el grupo de Industrias CYDSA. Su composición es:

<u>HCN</u>		<u>NaOH</u>	
HCN	= 97.90 %	NaOH	= 50.00 %
H <sub>2</sub> O	= 1.40 %	H <sub>2</sub> O	= 50.00 %
Acrilonitrilo	= 0.50 %	Impurezas metálicas,	
Acetona	= 0.20 %	despreciables.	

Al conjunto del acrílonitrilo y de la acetona contenidos en el --- ácido cianhídrico, se les llamará "otros". Por lo tanto:

Otros = 0.70 %.

Proposición 2

La etapa de evaporación-cristalización llevará a cabo la cristali- zación del NaCN en una solución saturada con un contenido de NaOH de -- 2.0 %, a una temperatura de 55°C.

La temperatura pertenece a un sistema completamente estudiado y la concentración de NaOH a una alcalinidad adecuada para que la evapora- ción de agua efectuada origine una producción de cristales óptima.

Proposición 3

La etapa de separación entregará un producto conteniendo 90 % de - cristales y 10 % de solución saturada.

Esta condición corresponde a la humedad máxima permitida para la - operación satisfactoria del sistema de secado neumático, que le sigue.

Proposición 4

La alcalinidad en la etapa de reacción deberá ser de 1.0 %, con una temperatura de reacción de 40°C. Estas condiciones son suficientes para evitar la descomposición del NaCN en  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{HCOONa}$ .

Proposición 5

La totalidad de "otros" contenida inicialmente en la corriente del ácido cianhídrico, será arrastrada por el vapor de agua generado y extraído en la etapa de evaporación-cristalización.

Los balances de masa, atendiendo la identificación de la Figura 5.1 son los siguientes:

Corriente 1

$$\text{Corriente 1} = \frac{401.7 \text{ kg/h}}{0.979} = 410.3 \text{ kg/h.}$$

$$\text{Corriente 1} = 410.3 \text{ kg/h} \quad 100.0 \%$$

$$\text{HCN} = 401.7 \text{ kg/h} \quad 97.9 \%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 5.7 \text{ kg/h} \quad 1.4 \%$$

$$\text{Otros} = 2.9 \text{ kg/h} \quad 0.7 \%$$

Corriente 5

La corriente 5 esta definida por la composición de la corriente 4.

La corriente 4, según un diagrama ternario  $\text{NaCN}-\text{NaOH}-\text{H}_2\text{O}$  es una solución saturada con un 2.0 % de NaOH, en equilibrio con cristales de NaCN con un 0.63 % de sosa ocluida en su estructura.

Además, por las condiciones de operación del equipo, los cristales una vez separados del líquido madre, deberán contener un 10 % de la solución saturada como máximo.

Numéricamente, se puede expresar así:

$$\text{Corriente 5} = (729.0 \text{ kg/h}) \times (1.0063) \times (1 + 1/9) = 815.1 \text{ kg/h}$$

Cuya composición, con base a un 100 % de concentración es:

Cristales 90 %	NaCN = 99.37 % = 729.0 kg/h	= 733.6 kg/h
	NaOH = 0.63 % = 4.6 kg/h	
Solución saturada 10 %	NaCN = 43.33 % = 35.3 kg/h	= 81.5 kg/h
	NaOH = 2.00 % = 1.6 kg/h	
	H <sub>2</sub> O = 54.67 % = 44.6 kg/h	

Para un balance de:

NaCN = 764.3 kg/h

NaOH = 6.2 kg/h

H<sub>2</sub>O = 44.6 kg/h

Ajustando el balance para una producción final de 729.0 kg/h de --  
NaCN (en lugar de los 764.3 kg/h obtenidos antes), los resultados son:

Cristales 90 %	NaCN = 99.37 % = 695.3 kg/h	= 699.7 kg/h
	NaOH = 0.63 % = 4.4 kg/h	
Solución saturada 10 %	NaCN = 43.33 % = 33.7 kg/h	= 77.8 kg/h
	NaOH = 2.00 % = 1.6 kg/h	
	H <sub>2</sub> O = 54.67 % = 42.5 kg/h	

Corriente 5 = 777.5 kg/h 100.0 %

NaCN = 729.0 kg/h 93.8 %

NaOH = 6.0 kg/h 0.8 %

H<sub>2</sub>O = 42.5 kg/h 5.4 %

Corriente 2

El exceso de NaOH en la corriente 5, debe provenir de la corriente de alimentación.

$$\begin{aligned} \text{NaOH} &= 595.1 \text{ kg/h} + 6.0 \text{ kg/h} \\ &= 601.1 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Corriente 2 =	1,202.1 kg/h	100.0 %
NaOH =	601.1 kg/h	50.0 %
H <sub>2</sub> O =	601.0 kg/h	50.0 %

Corriente 6

Un balance de masa en el reactor, recordando que la alcalinidad de la recirculación esta definida por la Proposición 2 y la del reactor -- por la Proposición 4, resulta en:

Balance global:

$$410.3 + 1,202.1 + \text{corriente 6} = \text{corriente 3}$$

Balance de sosa:

$$6.0 + (\text{corriente 6}) \times (0.02) = (\text{corriente 3}) \times (0.01)$$

Corriente 6 =	1,016.1 kg/h	100.0 %
NaCN =	440.3 kg/h	43.3 %
NaOH =	20.3 kg/h	2.0 %
H <sub>2</sub> O =	555.5 kg/h	54.7 %

Corriente 3

Un nuevo balance de masa en el reactor permite conocer esta corriente.

Corriente 3 =	2,628.6 kg/h	100.0 %
NaCN =	1,169.3 kg/h	44.5 %
NaOH =	26.3 kg/h	1.0 %
H <sub>2</sub> O =	1,430.1 kg/h	54.4 %
Otros =	2.9 kg/h	0.1 %

#### Corriente 4

La corriente 4 se conoce al practicar un balance de masa en la --- etapa de separación.

$$\text{corriente 4} = \text{corriente 5} + \text{corriente 6}$$

Corriente 4 =	1,793.6 kg/h	100.0 %
NaCN =	1,169.3 kg/h	65.2 %
NaOH =	26.3 kg/h	1.5 %
H <sub>2</sub> O =	598.0 kg/h	33.3 %

Sin embargo, la corriente 4 esta compuesta por cristales de NaCN - en equilibrio con su solución saturada.

La cantidad de cristales de NaCN ya fué determinada durante el --- cálculo de la corriente 5, por lo tanto la composición de la corriente 4 es:

Cristales	$\left  \begin{array}{l} \text{NaCN} = 99.37 \% = 695.3 \text{ kg/h} \\ \text{NaOH} = 0.63 \% = 4.4 \text{ kg/h} \end{array} \right $	= 699.7 kg/h
39 %		
Solución saturada	$\left  \begin{array}{l} \text{NaCN} = 43.33 \% = 474.0 \text{ kg/h} \\ \text{NaOH} = 2.00 \% = 21.9 \text{ kg/h} \\ \text{H}_2\text{O} = 54.67 \% = 598.0 \text{ kg/h} \end{array} \right $	= 1,093.9 kg/h
61 %		

Corriente 7

Un balance de masa alrededor de la etapa de cristalización- evaporación define a la corriente 7, contando además con la Proposición 5.

Corriente 7 = 835.0 kg/h 100.0 %

H<sub>2</sub>O = 832.1 kg/h 99.7 %

Otros = 2.9 kg/h 0.3 %

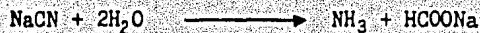
Corriente 8

Como la etapa de secado es el lugar con mayores probabilidades para llevarse a cabo la descomposición del NaCN en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y HCOONa, se consideró que aquí ocurre el 100 % de dicha descomposición.

Evaluaciones experimentales indican que en una solución de NaCN con una alcalinidad por NaOH de 1.0 % y 60°C, el NaCN sufre una descomposición a HCOONa en un 0.1 %.

Considerando que otro 0.1 % de NaCN se descompone en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, la descomposición total del NaCN será de 0.2 %.

Las reacciones de descomposición son:



La formación de estos productos, según la estequiometría de cada reacción es:

<u>Material</u>	<u>Peso Molecular</u> (g/g mol)	<u>Flujo Molar</u> (kmol/h)	<u>Flujo Másico</u> (kg/h)
NaCN	49	-29.8	-1.5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106	7.4	0.8
HCOONa	68	14.9	1.0

Además, en la etapa de secado se extraerá el 90 % del  $H_2O$  de la corriente alimentada a ella, por lo que un balance de agua será:

$$H_2O = (42.5 \text{ kg/h}) \times (0.1) = 4.25 \text{ kg/h}$$

Corriente 8 =	739.6 kg/h	100.0 %
NaCN =	727.5 kg/h	98.4 %
$Na_2CO_3$ =	0.8 kg/h	0.1 %
HCOONa =	1.0 kg/h	0.1 %
NaOH =	6.0 kg/h	0.8 %
$H_2O$ =	4.3 kg/h	0.6 %

### Corriente 9

La etapa de compactación como involucra únicamente un cambio en la presentación final del producto, no arroja variación en su composición. En consecuencia, la corriente 8 es igual a la corriente 9.

$$\text{Corriente 9} = \text{Corriente 8} = 739.6 \text{ kg/h}$$

Las pérdidas de material por el manejo no fueron incluidas en los balances de masa hasta ahora, para no hacer más suposiciones. Sin embargo, se puede afectar a todo el balance de masa para obtener la producción instantánea neta establecida:

$$\begin{aligned} \text{Producción neta} &= (\text{producción bruta}) \times (\text{eficiencia por manejo}) \\ &= (739.6 \text{ kg/h}) \times (0.996) \\ &= 736.6 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

La producción de NaCN será a su vez:

$$\begin{aligned} \text{NaCN} &= (727.5 \text{ kg/h}) \times (0.996) \\ &= 724.6 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

TABLA 5.1

Cuadro del balance de masa  
del diagrama de flujo de proceso.

Material	Unidad	Corrientes de proceso								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
HCN	kg/h	401.7								
NaOH	kg/h		601.1	26.3	26.3	6.0	20.3		6.0	6.0
NaCN	kg/h			1,169.3	1,169.3	729.0	440.3		727.5	727.5
H <sub>2</sub> O	kg/h	5.7	601.0	1,430.1	598.0	42.5	555.5	832.1	4.3	4.3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kg/h								0.8	0.8
HCOONa	kg/h								1.0	1.0
Otros	kg/h	2.9		2.9				2.9		
Total	kg/h	410.3	1,202.1	2,628.6	1,793.6	777.5	1,016.1	835.0	739.6	739.6

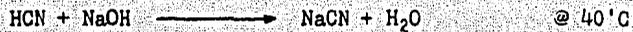
La pureza del producto estimada a través de los balances de masa - efectuados hasta ahora sería del 98.4 %.

La Tabla 5.1 resume todos los datos obtenidos en esta sección.

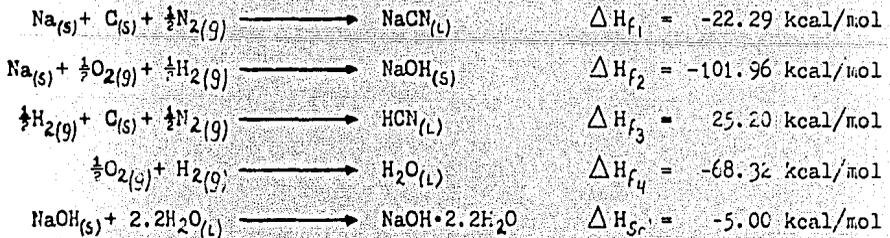
### 5.1.2 Balance de energía.

El balance de energía en cada uno de los equipos de proceso se --- incluye en la sección de diseño de los mismos. En esta sección se evaluará sólo el calor de reacción involucrado en la formación del -- Cianuro de sodio.

La reacción es:



Se dispone de la siguiente información, evaluada a 25°C:



La última reacción es la representativa de la formación de una solución de NaOH al 50 %.

El calor de reacción se evaluó:

$$\Delta H_R = \Delta H_{f_1} - \Delta H_{f_2} - \Delta H_{5ol} - \Delta H_{f_3} + \Delta H_{f_4}$$

$$\Delta H_R = -8,847.4 \text{ cal/mol}$$

@ 25°C

Para evaluar la reacción a 40°C con una alimentación a 20°C, se empleó la ley de Hess:

$$\Delta H_R \Big|_{298}^{313} = \Delta H_R \Big|_{298}^{298} + \int_{298}^{313} (c_{p_{\text{NaCN}}} + c_{p_{\text{H}_2\text{O}}}) dt - \int_{293}^{313} (c_{p_{\text{NaOH}}} + c_{p_{\text{HCN}}}) dt$$

Los calores específicos necesarios son:

$$c_{p_{\text{NaCN}}(l)} = 0.9988 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \quad \text{valor promedio entre 25 y 40}^\circ\text{C.}$$

$$\begin{aligned} c_{p_{\text{NaCl}}(l)} &= (c_{p_{\text{NaCN}}(s)}) \times (x) + (c_{p_{\text{H}_2\text{O}}(l)}) \times (1 - x) \\ &= (0.3298 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) \times (0.21) + (0.9988 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) \times (0.79) \\ &= 8583 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$c_{p_{\text{NaOH}}(l)} = 0.9906 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

$$c_{p_{\text{HCN}}(l)} = 0.6495 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \quad @ 293^\circ\text{K}$$

$$c_{p_{\text{HCN}}(g)} = 0.3189 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \quad @ 313^\circ\text{K}$$

Haciendo las debidas conversiones de unidades, el resultado final es:

$$\Delta H_R = -8,746.17 \text{ cal/mol} \quad @ 40^\circ\text{C}$$

como puede verse, se trata de una reacción moderadamente exotérmica.

### 5.1.3 Diseño de equipo.

Las hojas de especificación de los equipos más importantes del proceso, se muestran en esta sección. La información que contienen corresponde a su diseño preliminar, cuyas memorias de cálculo aparecen en el Apéndice 2.

El diseño preliminar es un paso hacia la estimación del costo de capital de la planta. La razón de utilizar este tipo de diseño en el proyecto radica en el hecho de que menos de un 30 % del costo total del

capital se refleja en los gastos anuales de manufactura del proceso, -- por lo que una precisión de  $\pm 20\%$  en los costos de los equipos no repercutirá notablemente en el comportamiento económico del estudio, como se observará más adelante.

Nombre : Reactor.

Número de identificación : R - 110

Hoja 01 de 01.

Función : Recipiente de reacción, donde se realizará la reacción de producción del Cianuro de sodio.

Tipo : C.S.T.R. con chaqueta de enfriamiento.

Operación : Continua.

Materiales : de proceso : HCN líquido.

NaOH solución al 50 %.

NaCN en solución.

H<sub>2</sub>O líquida.

de servicio : agua de enfriamiento a 10°C.

Servicios : Energía eléctrica = 4.40 kw.

Agua de enfriamiento = 10.44 m<sup>3</sup>/h.

Datos de diseño :

Volumen de trabajo = 1.01 m<sup>3</sup>

Volumen libre = 0.99 m<sup>3</sup>

Volumen total = 2.00 m<sup>3</sup>

Presión interna = 1.0 atm.

Temperatura interna = 40°C.

Información del equipo :

Material de construcción : Acero al carbón, vidriado.

Posición : Vertical.

Dimensiones : Diámetro = 1.08 m.

Longitud = 2.17 m.

Chaqueta : Externa de acero al carbón.

Agitador : Tipo axial de 120 rpm, impulsado con un motor de 5.0 CP.

Nombre : Sistema de cristalización.

Número de identificación : P - 201 Hoja 01 de 01.

Función : Generar la cristalización de NaCl, por medio de la sobresaturación de la solución alimentada.

Tipo : Cristalizador- evaporador a vacío, de circulación forzada, y clase D.T.B. (draft-tube-baffle).

Operación : Continua.

Materiales : de proceso : NaCl como cristal y en solución.

NaOH en solución.

H<sub>2</sub>O líquida y como vapor.

de servicio : Vapor de agua @ 6.8 atm. (100 psia).

Servicios : Energía eléctrica = 2.70 kw.

Vapor de agua = 1,100.00 kg/h

Datos de diseño :

Volumen de trabajo = 2.00 m<sup>3</sup>

Presión interna = 55.60 mm Hg.

Temperatura interna = 55°C.

Producción de cristales = 729.00 kg/h.

Requerimientos de calor = 2.11 X 10<sup>6</sup> kJ/h.

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L.

Posición = Vertical.

Diámetro = 1.27 m.

Intercambiador de calor = Externo de tubos y coraza.

Aislamiento = Fibra de vidrio.

Agitador = Tipo axial, impulsado por un motor de 2.0 CP.

Nombre : Separador centrífugo.

Número de identificación : H - 310

Hoja 01 de 01.

Función : Separar del concentrado alimentado los cristales de NaCN, recirculando la solución filtrada al proceso.

Tipo : Separador centrífugo de canasta suspendida (top-suspended centrifugal filter).

Operación : Alimentación cíclica, con descarga de cristales cíclica-automática.

Materiales de proceso : Concentrado de cristales de NaCN en agua.

Servicios : Energía eléctrica = 35.20 kw.

Datos de diseño :

Separación de cristales = 740.00 kg/h.

Humedad máxima del producto = 5.40 % en peso.

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L en todas las partes en contacto con las corrientes de proceso.

Posición = Canasta vertical.

Diámetro de la canasta = 1.016 m. (40 in.).

Potencia = Motor de 40.0 CP.

Nombre : Sistema de secado neumático.

Número de identificación : P - 401

Hoja 01 de 01.

Función : Extraer la humedad excesiva de los cristales de NaCN.

Tipo : Secador neumático.

Operación : Continua.

Materiales de proceso : Cristales de NaCN.

Aire de secado.

Servicios : Energía eléctrica = 23.30 kw.

Datos de diseño :

Volumen de trabajo = 0.32 m<sup>3</sup>

Temperatura interna = 35 - 102°C

Presión interna < 1.00 atm.

Requerimientos de calor = 92,500.00 kJ/h

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L en todas las partes  
en contacto con las corrientes  
de proceso.

Dimensiones : Largo = 9.60 m.

Diámetro = 0.20 m.

Aislamiento = Fibra de vidrio.

Venteo = Conectado al sistema anticonta-  
minante.

Soplador = De tiro inducido, impulsado con  
motor de 25.00 CP.

Nombre : Prensa de rodillos.

Número de identificación : S - 510

Hoja 01 de 01.

Función : Formar aglomerados de NaCN de 5.00 mm. de tamaño.

Tipo : Prensa de rodillos, "roll-type press".

Operación : Continua.

Materiales de proceso : Cristales de NaCN.

Servicios : Energía eléctrica = 12.00 kw.

Datos de diseño :

Presión de trabajo = 3,400 - 5,500 atm.

Producción de gránulos = 740.00 kg/h.

Información del equipo :

Material de construcción = Acero inoxidable en las partes en contacto con el material de proceso.

Generación de presión = Hidráulica.

Otros = El tiempo de residencia del -- producto en el equipo, debe de ser mínimo.

Nombre : Criba.

Número de identificación : H - 520

Hoja 01 de 01.

Función : Seleccionar el tamaño óptimo de los gránulos de NaCN, ----  
recirculando el material fuera de especificación al proceso.

Tipo : Criba vibratoria oscilante.

Operación : Continua.

Materiales de proceso : Cristales de NaCN.

Servicios : Energía eléctrica = 0.50 kw.

Datos de diseño :

Capacidad de cribado = 740.00 kg/h de gránulos de NaCN.

Densidad del producto = 0.96 g/cm<sup>3</sup> (bulk).

Información del equipo :

Material de construcción = Acero inoxidable en las partes  
en contacto con el producto.

Diámetro = 0.77 m.

Motor requerido = 0.50 CP.

Otros = Dos mallas separadoras, de acero  
inoxidable, con marcos equipados  
para la descarga de material.

Nombre : Sistema de transporte neumático.

Número de identificación : P -601 Hoja 01 de 01.

Función : Transferir los cristales de NaCN de la criba a la tolva de empaque.

Tipo : Sistema de transporte neumático.

Operación : Continua.

Materiales de proceso : Cristales de NaCN (en aglomerados).

Servicios : Energía eléctrica = 4.70 kw.

Datos de diseño :

Capacidad de transporte = 740.00 kg/h.

Densidad de los gránulos = 0.96 g/cm<sup>3</sup> (bulk).

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L en todas las partes en contacto con el producto.

Dimensiones = Longitud equivalente = 46.00 m.

Diámetro = 0.08 m.

Aislamiento = No necesario.

Motor requerido = 5.00 CP.

Venteo = Conectado al sistema anticontaminante.

Soplador = De tiro inducido.

Nombre : Bomba de descarga.

Número de identificación : L - 214

Hoja 01 de 01.

Función : Conducir el concentrado formado en el sistema de cristalización, al tanque de retención.

Tipo : Bomba centrífuga.

Operación : Continua.

Materiales de proceso : Concentrado de cristales de NaCN en agua.

Servicios : Energía eléctrica = 1.10 kw.

Datos de diseño :

Cabezal total = 61.50 m. de líquido.

Densidad del concentrado = 1.34 g/cm<sup>3</sup>

Temperatura = 55°C.

Información del equipo :

Material de construcción = SS -304 L en todas las partes  
en contacto con las corrientes  
de proceso.

Posición = Horizontal.

Impulsor = Abierto.

Potencia = 1.0 CP.

Nombre : Eyector de vacío.

Número de identificación : G-213

Hoja 01 de 01.

Función : Crear el vacío necesario para la correcta operación del -  
cristalizador.

Tipo : Eyector de vacío a base de vapor de agua.

Operación : Continua.

Materiales : de proceso : Vapor de la solución del cristalizador.

de servicio : Vapor de agua. @ 6.80 atm. (100 psia).

Servicios : Vapor de agua = 11,900.00 kg/h.

Datos de diseño :

Presión generada = 55.60 mm Hg. abs.

Caudal de proceso = 1,043.00 kg/h de aire a 21.1°C  
(70°F).

Presión de descarga = 1.00 atm.

Información del equipo :

Material de construcción = Acero al carbón.

Número de etapas = 1.0

Tipo de condensador = Barométrico.

Número de condensadores = 1.0

Nombre : Tanque de retención.

Número de identificación : F - 320

Hoja 01 de 01.

Función : Asegurar el suministro adecuado del concentrado de NaCN a la etapa de separación.

Tipo : Cuerpo cilíndrico, tapa plana y fondo cónico.

Operación : Alimentación continua,  
Descarga cíclica.

Materiales de proceso : Concentrado de cristales de NaCN en agua.

Servicios : No requeridos.

Datos de diseño :

Volumen de trabajo = 0.70 m<sup>3</sup>

Volumen libre = 0.53 m<sup>3</sup>

Volumen total = 1.23 m<sup>3</sup>

Presión interna = 1.00 atm.

Temperatura interna = 55°C.

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L.

Posición = Vertical.

Dimensiones = Diámetro = 1.10 m.

Longitud = 1.10 m.

Aislamiento = No necesario.

Nombre : Tolva de empaque.

Número de identificación : F - 620 Hoja 01 de 01.

Función : Proporcionar el tiempo de retención necesario al producto terminado, entre su producción continua y su empaque.

Tipo : Cuerpo cilíndrico, tapa plana y fondo cónico.

Operación : Alimentación continua

Descarga cíclica.

Materiales de proceso : Cristales de NaCN.

Servicios : No requeridos.

Datos de diseño :

Volumen total = 2.92 m<sup>3</sup>  
 Presión interna = 1.00 atm.  
 Temperatura interna = 30.00°C.  
 Capacidad máxima de almacenamiento = 2,960.00 kg.  
 Densidad del producto = 0.96 g/cm<sup>3</sup> (bulk).

Información del equipo :

Material de construcción = SS - 304 L.  
 Posición = Vertical.  
 Dimensiones = Diámetro = 1.20 m.  
 Longitud = 2.40 m.  
 Aislamiento = No requerido.

## 5.2 Análisis económico.

En la sociedad industrial actual, un proyecto se realiza sólo cuando la evaluación económica que la fundamenta ofrece por lo menos el límite mínimo de ganancias fijado como norma por la empresa. Un proyecto requiere de recursos económicos para su planteamiento, pero cuando un proyecto activo se alarga en el tiempo resulta con ser más costoso, por las horas-hombre que implica. Es necesario entonces, que los proyectos no viables sean identificados rápidamente para evitar que se dediquen recursos innecesarios en su estudio. Con este criterio en mente, se hizo el análisis económico del proyecto de la planta productiva de Cianuro de sodio.

### 5.2.1 Costo de capital.

El costo de capital, o capital fijo, de una planta química es el precio de sus instalaciones. Dicho en otras palabras, es el precio que debería ser pagado si una planta de procesamiento pudiese ser comprada.

Para la estimación del costo de capital, el diagrama de flujo de proceso es indispensable.

Información acerca del tipo de equipo, sus dimensiones y su material de construcción, puede obtenerse de la información que proporciona el diagrama de flujo y que se reflejó en las hojas de especificación de equipo. Entonces, el precio de compra aproximado del equipo puede ser obtenido de un proveedor, de una referencia o, en algunos casos, por experiencia.

Sin embargo, el conocer el precio de compra de los equipos representados en el diagrama de flujo no proporciona el costo de capital de la planta de proceso. El proceso, aparte del equipo individual, requiere de tubería, instrumentación, estaciones de servicios, sistemas de almacenamiento y de otros conceptos más. De esto se deduce que, en muchas ocasiones, el costo final de la planta sea algunas veces mayor que la suma de los precios de los equipos individuales.

Por equipo individual se entenderá en este estudio, al equipo en cuestión sin ningún accesorio, instalación o instrumento que no sea incluido por el fabricante al entregarlo y su costo tampoco incluirá la transportación al lugar de la planta, ni su instalación.

La estimación del costo de capital requiere del uso de varios factores que serán aclarados en su oportunidad.

Todos los factores tendrán su aplicación sobre los precios de compra de los equipos individuales. Los costos de compra para todos los equipos del diagrama de flujo de proceso, Figura 5.1, se determinaron de información contenida en la literatura, referida en cada caso y enlistada en la Bibliografía.

#### 5.2.1.1 Efecto de la inflación.

La inflación es un fenómeno económico que ha afectado la marcha de las empresas en México. Uno de sus efectos en la actualidad es la imposibilidad de predecir su magnitud con un margen aceptable de confiabilidad.

Otro de los parámetros importantes en proyectos como el que se presenta aquí, es el tiempo, que es el que obliga a incluir a la infla-

ción en la estimación económica. Pero, a efecto de no caer en una discusión acerca de los pronósticos de la inflación en el futuro, todos -- los datos que aparecen en el estudio económico están expresados en --- dólares USA.

Las siguientes son algunas de las razones que soportan a la determinación anterior:

- i) Los fabricantes de bienes de capital para la industria química son en su inmensa mayoría empresas con capital extranjero, y que basan su política comercial (precios de venta) en lineamientos generales marcados en USA.
- ii) La moneda de transacción para los equipos no fabricados en México es el dólar USA.
- iii) La economía nacional tiene una política actual de ajuste constante (deslizamiento), en la que se tiene como moneda de referencia al - dólar USA.
- iv) El dólar USA, padece en sí un proceso inflacionario, pero que puede ser determinado con mayor precisión.

En suma, en este trabajo todos los valores monetarios están expresados en dólares, incluso aquellos cuyo valor se conoce en pesos mexicanos.

Definida la moneda empleada en el trabajo, el efecto de la inflación se precisó al fijar el parámetro tiempo.

El tiempo se fijó estableciendo una fecha en la que se aplicará el proyecto, fecha para la cual será válido el estudio económico del mismo.

A pesar de todas las medidas adoptadas hasta ahora para aminorar -

el grado de incertidumbre del efecto de la inflación, sería muy arriesgado considerar una fecha de realización del proyecto muy lejana del -- presente. En vista de estas circunstancias, se decidió lo siguiente:

La fecha efectiva de aplicación del estudio económico del proyecto de producción de Cianuro de sodio en México es Julio de 1986.

Esta fecha es suficiente para evaluar las conclusiones del trabajo y en el caso de un resultado favorable, realizar un estudio más profundo, con una fecha efectiva posterior a la aquí expuesta.

Por lo tanto, toda la información económica está referida a valores de Julio de 1986.

La proyección de la paridad peso-dólar para Julio de 1986, empleando para ello el valor del dólar de ventanilla y mediante una regresión lineal, con coeficiente de regresión de 0.9991, será de \$ 551.00 Mex. = \$ 1.00 USA.

Los costos de compra de los equipos individuales consultados en la bibliografía están referidos a fechas en el pasado. La escalación de -- estos valores a Julio de 1986, se hizo mediante el uso de índices correctivos por la inflación del dólar.

El índice utilizado es el Índice de Costo de Planta C.E. (C.E. --- Plant Cost Index), que representa un promedio de los costos de toda la industria química en USA.

Algunas de las ventajas que ofrece el Índice CE son las siguientes:

- i) Esta basado en la labor y en el equipo típicamente empleados para la construcción de plantas químicas.
- ii) Considera las mejoras alcanzadas en productividad, dentro de la -- industria de la construcción.

iii) Incluye costos de ingeniería, de materiales, de manufactura y de instalación.

Por consiguiente, el costo de compra  $C_p$  de un equipo individual en la fecha "s" (Julio de 1986) será:

$$C_{p_s} = C_{p_r} \frac{I_s}{I_r}$$

donde  $C_{p_r}$  es el precio de compra del equipo en la fecha "r",  $I_s$  e  $I_r$  -- son los Indices CE en las fechas "s" y "r" respectivamente.

Los costos de compra de todos los equipos individuales del proyecto a Julio de 1986, así como los Indices CE, aparecen en la Tabla 5.2 - (13, 14, 19, 20).

#### 5.2.1.2 Costos de instalación.

Los precios de compra de los equipos individuales son l.a.b. (libre a bordo), esto es, corresponden al equipo puesto en el medio de transporte más conveniente, en las instalaciones del fabricante.

Por lo tanto, el equipo debe ser embarcado, con cargo al comprador, al lugar donde se instalará, dentro de la planta.

Una vez colocados los equipos en su lugar, se debe instalar la tubería, estructuras, instrumentos y equipo eléctrico necesarios. Finalmente se fijan los que así lo requieran, se pintan y se prueban.

Una aproximación al costo total de la planta se logra al afectar el costo de compra de cada equipo individual con un factor adecuado. -- los factores empleados en este trabajo, son los propuestos por Guthrie (21), que se denominan "factores de módulo" y cuyos valores son carac--

terísticos del tipo de equipo al que corresponden.

Los factores de módulo, también conocidos como factores de instalación, comprenden gastos directos e indirectos de instalación.

Los gastos directos de instalación, corresponden a los gastos de materiales directos de la operación y la labor asociada a ella.

Los gastos indirectos consisten en los fletes, seguros e impuestos de la compra de los materiales adquiridos. También incluyen otros gastos relacionados a la labor de la instalación, como el sobresueldo (overhead) de la misma, equipo de seguridad, herramientas y equipo mecánico. Un tercer elemento es la ingeniería de la instalación, que comprende los sueldos de los ingenieros de diseño y de proceso, dibujantes y otros gastos de oficina.

Los factores de módulo de cada equipo de proceso del límite de baterías del proyecto, se muestran en la Tabla 5.2 .

La suma de los costos de compra y de instalación de los equipos de proceso, da origen al "módulo de proceso" de la planta. Este módulo -- representa el costo de capital de la adición de un proceso a una planta en donde el lugar, los edificios auxiliares y los servicios externos, ya existen y son adecuados.

En el caso como en el del proyecto del Cianuro de sodio, que involucra una planta completa, el siguiente paso consiste en la determinación del costo total del módulo.

Para obtener el costo total del módulo, esto es, los gastos totales para procurar e instalar los equipos de proceso del límite de baterías y dejarlos listos para su operación, se deben estimar las contingencias y los cargos del proyecto. Estimaciones de Guthrie (21) han --

dado como resultado que las contingencias representen un 15 % del costo del módulo del proceso, en tanto que los cargos un 3 %.

El costo total del módulo aparece en la Tabla 5.2 .

### 5.2.1.3 Facilidades auxiliares.

Como ya se dijo en la sección anterior, la evaluación del costo -- total de un proyecto nuevo, es decir, completamente autosuficiente, incluye otros gastos no considerados hasta ahora y relacionados no con la instalación del proceso, sino con su acondicionamiento para hacer de él una planta independiente. Estos gastos están agrupados dentro de las - facilidades auxiliares y son los siguientes:

- i) Desarrollo del lugar. Consisten en la evaluación y diseño de la - ingeniería civil del lugar en donde se ubicará el proyecto; el dre- nado, la limpieza, la excavación, la nivelación y compactación del terreno. Además, incluye la construcción de los drenajes, la ins- talación de las líneas de suministro de agua, los caminos, los --- andadores, el estacionamiento, los cimientos de la obra y el cerca- do del terreno.
- ii) Edificios auxiliares. Comprenden el diseño y la construcción de - los edificios auxiliares para alojar las oficinas administrativas, el laboratorio, el taller de mantenimiento y los almacenes. --- También deberán estar incluidos los edificios de servicios destina- dos para instalar el comedor, los vestidores, los lockers del per- sonal, los sanitarios y los servicios médicos.

TABLA 5.2  
(\*)  
Costo de capital.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del índice CE <u>385</u>						
Nombre del equipo.	Equipo número.	Capacidad o dimensiones.	Cotización inicial.	Año de cotización.	CE Index inicial.	Costo de compra de equipo, C <sub>e</sub>	Factor de módulo, F <sub>m</sub>	Costo de módulo de equipo, C <sub>DE</sub>
Reactor.	R-110	2.00 m <sup>3</sup>	24,000	Enero 79	237	24,000 X 1.6245	6.0	234,000
Sistema de cristalización.	P-201	16.00 ton/di.	57,000	Enero 79	237	57,000 X 1.6245	6.2	574,000
Bomba de descarga.	L-214	0.746 kw	2,800	Junio 82	315	2,800 X 1.2222	4.6	15,700
Trinque de retención.	F-320	1.233 m <sup>3</sup>	2,000	Junio 82	315	2,000 X 1.2222	4.8	11,700
Separador centrífugo.	H-310	1.016 m. diám.	22,000	Enero 79	237	22,000 X 1.6245	3.4	121,500
Sistema de secado neumático.	P-401	0.312 m <sup>3</sup>	20,000	Junio 82	315	20,000 X 1.2222	5.5	134,500
Prensa de rodillos.	S-510	1.0 kg/sog	13,000	Junio 82	315	13,000 X 1.2222	2.5	39,800
Criba.	H-520	0.456 m <sup>2</sup> área	5,300	Enero 79	237	5,800 X 1.6245	3.5	33,000
Sist. de transporte neumático.	F-601	45.00 m. long.	13,000	Junio 82	315	13,000 X 1.2222	2.2	35,000
Tolva de empague.	F-620	2.97 m <sup>3</sup>	3,500	Junio 82	315	3,500 X 1.2222	4.8	20,000
Evector de vacío.	G-213	1,042 kg/h aire	29,000	Oct. 78	200	29,000 X 1.9250	1.7	94,800
Total de costos de módulo de equipo, C <sub>TE</sub> = $\sum C_{DE}$								1'314,000
Contingencia y cargo, C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub> = (C <sub>TE</sub> ) X (0.18)								236,000
Costo total del módulo, C <sub>11</sub>								1'550,000
Facilidades auxiliares, C <sub>12</sub> = (C <sub>11</sub> ) X (0.30)								465,000
Costo de capital, C <sub>13</sub>								2'015,000

(\*) Todos los datos estan expresados en dólares.

iii) Servicios externos. Los servicios externos consisten en las facilidades necesarias para proporcionar los servicios al proceso, al sistema de seguridad y al sistema anticontaminante. En este caso particular, los servicios externos del proyecto consisten en un -- generador de vapor, un compresor de aire para instrumentos, una -- torre de enfriamiento, el sistema de almacenamiento y distribución de diesel, los tanques de almacenamiento de NaOH y HCN, el empacador de producto, el sistema anticontaminante de gases y vapores, - el sistema de tratamiento de efluentes sólidos, el sistema contra incendios, el alumbrado externo y el sistema de comunicaciones.

Las facilidades auxiliares, resumidas en un sólo factor, fueron -- estimadas por Guthrie (21) en un 30 % del costo total del módulo, para industrias similares a la del proyecto, valor empleado en esta evaluación económica.

En resumen, el costo de capital está constituido por los costos de compra de los equipos individuales del límite de baterías (corregidos por la inflación), sumados al costo de instalación de los mismos y afectándolos con dos factores, uno por contingencias y cargos del proyecto, y otro por las facilidades auxiliares requeridas.

Toda esta información esta condensada en la Tabla 5.2 .

### 5.2.2 Costos de manufactura.

El capital fije no es la única inversión que un empresario debe -- realizar para hacer funcional una planta química. Aparte del capital - invertido en el diseño, construcción e instalación de la planta, se ---

requieren de otros gastos para iniciar la producción. El conjunto de estos otros gastos recibe el nombre de costos de manufactura.

La evaluación de los costos de manufactura es una actividad normal y periódica en la administración de las empresas. La herramienta de trabajo que utilizan los contadores es el Estado de Pérdidas y Ganancias, que forma parte de los Estados Financieros de la empresa.

Es de esperarse entonces, que los costos de manufactura del proyecto sean reflejados en un Estado de Pérdidas y Ganancias elemental, como el que se usa en la contabilidad básica. Por tal motivo, a este documento se le llamó simplemente Hoja de Balance.

A pesar de su sencillez, la hoja de balance es muy adecuada para definir la mayoría de las alternativas de ingeniería, además de ser una herramienta valiosa para procedimientos de contabilidad de más alto nivel.

Los costos de manufactura si bien son particulares a cada proceso industrial, conservan un lineamiento general que ha sido investigado y discutido por muchos autores, circunstancia que permitió su estimación preliminar.

Los criterios utilizados en la elaboración de la hoja de balance que se señalan a continuación, son los recomendados por Ulrich (13).

#### 5.2.2.1 Capital total.

El total de la inversión de capital, consiste en la cantidad de dinero que deben proporcionar los inversionistas. El capital total se compone del capital fijo y del capital de trabajo.

- i) Capital fijo. El capital fijo o costo de capital, discutido anteriormente, es financieramente inmóvil porque una vez que se ha gastado el dinero en él, no puede ser rápidamente convertido otra vez en efectivo o en algún otro bien.
- ii) Capital de trabajo. Es el capital que se debe invertir antes de que un producto pueda ser vendido. Teóricamente este capital no se ha perdido para siempre y puede ser recobrado al momento de cerrar la planta. Típicamente, el capital de trabajo es aproximadamente el valor de los inventarios de un mes de materias primas y dos o tres meses de producto terminado. Para estimaciones preliminares un valor de 10 % del capital fijo es un valor aceptable.

El capital total aún cuando no es un costo de manufactura, forma parte de la información de la hoja de balance, por su influencia en los costos de operación, tanto directa como indirectamente.

#### 5.2.2.2 Costos directos de manufactura.

Los costos directos de manufactura son aquellos que entran directa y físicamente en el costo del producto.

- i) Materias primas. Las materias primas utilizadas en el proceso del Cianuro de sodio son esencialmente: ácido cianhídrico e hidróxido de sodio.

Los costos de las materias primas se calcularon según los requerimientos fijados por el balance de masa, en base anual, y el tiempo real disponible de la planta.

El precio unitario estimado de las materias primas para Julio de -

1986 (l.a.b.), utilizando los índices CE, será:

Acido cianhídrico	\$ 335.10 /ton.
Hidróxido de sodio	\$ 258.00 /ton.

- ii) Personal de operación. Es el personal que se encarga directamente de operar los equipos de proceso y de servicio. Los requerimientos de personal de operación del proyecto se muestran en la Tabla 5.3 .

La zona económica salarial para Ciudad Madero, Tamaulipas, es la 28-B, con un salario mínimo profesional de \$ 3.81 por día (\$ 2,100 pesos), equivalentes a \$ 1,391.10 anuales per cápita. Considerando el caso extremo de cuatro turnos de trabajo, de ocho personas cada uno, resulta en una nómina de 32 personas de operación.

- iii) Personal de supervisión y oficinas. Los costos de este tipo de personal son una función directa del costo del personal de operación.

Un factor de 10 % del costo del personal de operación refleja adecuadamente el costo del personal de supervisión y oficinas, según Holland (23).

- iv) Servicios. El costo de los servicios corresponde al consumo requerido para la operación del proceso y para la generación de otros servicios. Los servicios solicitados por el proyecto son: energía eléctrica, vapor de agua, agua de enfriamiento y agua desmineralizada. El sistema de tratamiento de efluentes sólidos también se consideró como un servicio.

TABLA 5.3

Requerimientos de personal de operación, por turno de trabajo para la planta de producción de NaCN. (13)

<u>Equipo</u>	<u>Número de operadores</u>
Servicios.	4.00
Caldera.	1.00
Torre de enfriamiento.	1.00
Desmineralizador de agua.	0.50
Subestación eléctrica.	0.00
Tratadora de efluentes.	1.00
Compresor de aire.	0.20
Proceso.	4.00
Reactor.	1.00
Sistema de cristalización.	0.50
Separador.	0.20
Tanque de retención.	0.00
Sistema de secado.	0.30
Frensa de rodillos.	0.30
Criba.	0.20
Sistema de transporte neumático.	0.20
Sistema de empaçado.	1.00
Total.	8.00

El costo de los servicios, para objeto de la evaluación preliminar, se compone de dos elementos; el primero abarca a los materiales y la labor requerida, afectandolos por un Índice CE; el segundo es la energía necesaria para producir el servicio.

La expresión matemática del costo es:

$$C_s = (a) \times (\text{Índice CE}) + (b) \times (C_{s,f})$$

donde (a) y (b) son constantes específicas de cada servicio,  $C_s$  es el costo unitario del servicio "s" y  $C_{s,f}$  es el costo unitario del combustible primario "f" empleado para producir dicho servicio.

En la Tabla 5.4 aparecen los costos unitarios de todos los servicios del proceso, así como su consumo estimado.

El costo unitario de la energía eléctrica corresponde a la cotización real de la Comisión Federal de Electricidad, CFE, según la tarifa No. 8 para servicio general en alta tensión.

El costo del agua desmineralizada es real, basado en los costos de una planta industrial de IRSA.

El sistema de tratamiento de efluentes se encargará de los desechos sólidos generados durante el proceso y que por su toxicidad deben ser tratados antes de desecharse.

- v) Mantenimiento. El presupuesto para mantenimiento de una planta bien diseñada y construida, que son algunos de los objetivos del proyecto, resulta con ser proporcional a las dimensiones, capacidad y complejidad del proceso.

En términos generales, estos gastos son relativamente altos, la

TABLA 5.4  
 Costos unitarios y consumos estimados  
 de los servicios del proceso de NaCl

<u>Servicios</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Consumo</u>
Energía eléctrica.	0.022 \$/kw-h	84.00 kw
Vapor de agua.	0.0124 \$/kg	13,000.00 kg/h
Agua desmineralizada.	0.3394 \$/m <sup>3</sup>	0.601 m <sup>3</sup> /h
Agua de enfriamiento.	1.00 \$/m <sup>3</sup>	10.44 m <sup>3</sup> /h
Tratamiento de efluentes.	0.1155 \$/kg	2.958 kg/h

mitad de ellos corresponde a salarios, en tanto que el otro 50 % - son partes nuevas, herramientas y equipo. Un factor de 6 % del -- capital fijo es el valor que mejor refleja al costo de mantenimien- to del proyecto.

vi) Accesorios de operación. Los gastos de este renglón se refieren a materiales como cartas de registro de instrumentos, lubricantes -- especiales, accesorios para muestreo y otros más, que no están --- considerados como de mantenimiento. Se ha encontrado que dichos - costos varían con el capital fijo y son proporcionales a los cos- tos de mantenimiento. El valor más recomendable para la estima--- ción del costo de los accesorios de operación, es considerar un -- 15 % de los costos de mantenimiento.

vii) Gastos de laboratorio. Los gastos por el control de calidad y los análisis físicos y químicos, para la certificación de la pureza -- del producto y la correcta operación de la ruta del proceso, perte- necen a este concepto. Los requisitos de calidad del Cianuro de - sodio se indican en la Tabla 5.5 .

Por lo general, estos costos dependen de la complejidad del proce- so, en una forma similar a la de los costos del personal de opera- ción. De esta forma, los gastos de laboratorio se representan sa- tisfactoriamente con un 15 % de los gastos del personal de opera- ción.

viii) Patentes y regalías. Aún cuando el proyecto pretende desarrollar una tecnología de proceso independiente, cuyo inicio es la elabora- ción de este trabajo, sería riesgoso no incluir estos costos en el

TABLA 5.5  
Composición del producto final  
del proceso de manufactura de NaCN requeridos.

<u>Compuesto</u>	<u>Valor</u>
Cianuro de sodio, NaCN.	98.0 - 99.0 %
Carbonato de sodio, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .	0.3 - 1.3 %
Formiato de sodio, HCOONa.	0.4 % máximo
Hidróxido de sodio, NaOH	1.0 % máximo
Agua, H <sub>2</sub> O.	0.6 % máximo
Fierro, como Fe.	10.0 - 20.0 ppm

estudio. En los casos en que es necesario comprar una tecnología, los cargos por el pago de los derechos de uso están basados en las entradas por ventas y pueden representar hasta un 6 % del total de los gastos de manufactura.

En este trabajo se pretende establecer una adaptación de tecnología, por lo que se consideró un factor de 3 % de los gastos totales de manufactura para compensar los gastos equivalentes a este concepto.

### 5.2.2.3 Costos indirectos de manufactura.

Son tres tipos de costos indirectos de manufactura los que se consideraron en el análisis:

- 1) Gastos diversos del personal. Es el más importante de los gastos indirectos; está constituido por las prestaciones y compensaciones salariales del personal.

En México, este sobresalario es el equivalente a un 30 % del costo de los salarios directos como mínimo. Suponiendo que las prestaciones en el proyecto fuesen superiores al mínimo, se tomó un 40 % de la suma de los costos de personal de operación, de supervisión y de mantenimiento.

- ii) Impuestos locales. Como una estimación preliminar se relacionarán los impuestos locales con el costo de la planta, por medio de un factor de 1.5 % del capital fijo.

- iii) Seguros. Al igual que en el caso anterior, los costos de los seguros han sido estimados en forma proporcional al costo de la planta. Un factor de 0.5 % del capital fijo del proceso fue utilizado para

los propósitos preliminares.

#### 5.2.2.4 Depreciación.

En muchas técnicas de contabilidad, la depreciación esta agrupada dentro de los gastos indirectos de manufactura, pero debido a su impacto en el flujo de capital e impuestos, se decidió considerarla aparte.

La depreciación es un concepto económico que ha sido interpretado en varias formas (22). Desde el punto de vista de la ingeniería química y para ser aplicado al análisis económico del proyecto, se consideró a la depreciación como un costo de operación. Por esta causa, esta incluida en la hoja de balance.

Otra definición igualmente válida, empleada por los directores financieros, es la de dispensa de impuestos. Este último concepto define por completo a la depreciación, porque su interpretación es la de retorno de capital directamente al inversionista sin ser afectado por los impuestos.

Por otra parte, el gobierno sólo permite recuperar como depreciación a la inversión del capital fijo, recuperación que debe ser espaciada sobre un periodo determinado de tiempo.

Tradicionalmente el tiempo empleado en la industria para espaciar la depreciación, es de 10 años. Suponiendo una depreciación lineal a lo largo de esos diez años y un valor de rescate del proyecto despreciable, el costo anual de la depreciación es un 10 % del capital fijo.

### 5.2.2.5 Gastos generales.

Además de los costos directos e indirectos de manufactura, existen otros gastos adicionales. Estos gastos, necesarios para el funcionamiento de la planta, se agrupan en los siguientes renglones:

- i) Gastos administrativos. Son los gastos de oficina de la administración de la planta y son proporcionales al personal de la misma. Estos gastos pueden ser convenientemente aproximados con un 25 % del concepto de gastos diversos del personal.
- ii) Costos de distribución y venta. Consisten en los gastos de la comercialización del producto y por lo tanto dependen directamente del valor de dicho producto. Tomando un factor de 10 % sobre el total de los gastos de manufactura, se obtiene un valor aceptable para los costos de distribución y venta.
- iii) Investigación y desarrollo. Estos gastos, al igual que el concepto anterior, tienen una magnitud que es función del valor del producto comercializado. De esta forma se tomó el 5 % de los costos totales de manufactura, como los gastos de investigación y desarrollo.

En síntesis, los costos totales de manufactura del Cianuro de sodio han sido estimados considerando los costos directos, indirectos y generales, junto con la depreciación de la planta.

La hoja de balance o Estado de Pérdidas y Ganancias, con todos los costos de manufactura del proyecto para el primer año de operación, aparece en la Tabla 5.6 .

### 5.2.3 Precio de venta.

El precio de venta del Cianuro de sodio que se puede establecer en este punto del análisis, se estimó por medio de los costos totales de manufactura y de la suposición de la obtención de unas ganancias netas razonables.

Las utilidades o ganancias netas después de impuestos, es el capital obtenido de descontar a los ingresos por ventas los costos totales de manufactura y los impuestos correspondientes. De esta manera, como el total de la inversión de capital CTC es la inversión inicial del proyecto, las utilidades netas anuales después de impuestos se toman como el retorno del capital.

Fijando una tasa anual de retorno de capital, se fijaron las ganancias. En contabilidad, se emplean varios métodos para definir la tasa de retorno y el que se empleó en este trabajo es el recomendado por --- Holland (23), según el cual la tasa de retorno o velocidad de recuperación,  $i$ , se calcula de acuerdo a:

$$i = \frac{ANNP + AED}{CTC} \times 100$$

donde ANNP representa a las utilidades netas después de impuestos y AED el costo de la depreciación.

En México, tratándose de proyectos que implican una inversión considerable, como es el caso del Cianuro de sodio, se acostumbra establecer una velocidad de recuperación de capital en un plazo de cinco años máximo. Por lo tanto, la tasa de retorno debe ser de 20 % de la inversión total inicial.

Las ganancias que esta tasa de retorno implica, son las siguientes:

$$i = \frac{A_{NNE} + 201.50 \text{ k\$}}{2,217.00 \text{ k\$}} \times 100 = 20.00$$

$$A_{NNE} = 241.90 \text{ k\$}$$

La utilidad neta anual antes de impuestos,  $A_{NP}$ , sería:

$$A_{NP} = A_{NNE} + A_{IT}$$

donde  $A_{IT}$  son los impuestos gravados a la industria.

Estimando que la totalidad de los impuestos equivalgan a un 50 % de la utilidad neta antes de impuestos,

$$A_{IT} = (0.50) \times (A_{NP})$$

por lo tanto

$$A_{NNE} = A_{IT}$$

y

$$A_{IT} = 241.90 \text{ k\$}$$

$$A_{NP} = 483.80 \text{ k\$}$$

La producción de la planta propuesta por el proyecto, como se indicó en la sección 4.1.1, no será la misma durante todo el tiempo de vida útil del mismo. Esto implica que los costos de manufactura y por ende las hojas de balance serán diferentes para cada año de producción, con consecuentes tasas de recuperación también diferentes.

Por lo tanto, para que durante toda la vida útil del proyecto se tenga una tasa de retorno de capital mínima de 20 %, el precio de venta del Cianuro de sodio se fijó con el caso extremo donde los costos totales de manufactura representen la mayor carga sobre el precio del producto.

Se supondrá en este punto, que el tiempo requerido para poder arrancar las operaciones de la planta es de un año, a partir de la fecha efectiva del proyecto, Julio de 1986. El arranque será preliminarmente para el segundo semestre de 1987, año en el cual, debido a la ---

menor capacidad de producción (véase Tabla 4.2), los costos de manufactura tendrán el mayor efecto de toda la vida útil del proyecto.

En suma, el año base para calcular el precio de venta del Cianuro de sodio, que garantice una tasa de retorno de capital de 20 % mínimo, es 1987.

La Tabla 5.6 muestra todos los costos para el año de 1987, con una capacidad anualizada de 5,000 toneladas de NaCN.

Los ingresos por ventas son la suma de los costos totales de manufactura y la utilidad neta antes de impuestos.

$$A_S = A_{TE} + A_{NF}$$

$$A_S = 4,552.30 \text{ k\$} + 483.80 \text{ K\$}$$

$$A_S = 5,036.10 \text{ k\$}$$

Estos ingresos serían por 5,000 toneladas de producción, representando un precio unitario de \$ 1.0072/kg.

Redondeando el valor, se concluye que el precio unitario del Cianuro de sodio que puede ofrecer el proyecto es de \$ 1.008/kg.

El Estado de Pérdidas y Ganancias de la Tabla 5.6 está calculada con este precio de venta del NaCN, con el cual la tasa de retorno de capital es de 20.09 %.

TABLA 5.6  
HOJA DE BALANCE DE 1987.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FF}$	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, $C_{WC}$	202.0 k\$		
Capital total, $C_{CT}$	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,018.8		0.4037
Personal de operación.	44.6		0.0089
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0009
Servicios.			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,112.5		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0031
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.4		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	72.0		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.4		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0240
Accesorios de operación.	18.0		0.0036
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0013
Patentes y regalías.	136.5		0.0273
Total de directos, $A_{DE}$	3,552.7	3,552.7	0.7105
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0135
Impuestos locales.	30.2		0.0061
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, $A_{IE}$	98.4	98.4	0.0197
Total de gastos de manufactura, $A_{ME}$		3,651.1	0.7302
Depreciación, $A_{ED}$		201.5	0.0403
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0034
Costos de distribución y venta.	455.2		0.0910
Investigación y desarrollo.	227.6		0.0455
Total de generales, $A_{GG}$	699.7	699.7	0.1399
Total de gastos, $A_{TG}$		4,552.3	0.9104
Ingresos por ventas ( $5 \times 10^6$ kg/año @ 1.008 \$/kg), $A_{-}$		5,040.0	1.0080
Utilidad neta anual, $A_{-}$		487.7	0.0975
Impuestos por ingresos, $A_{II}$		(243.9)	(0.0488)
Utilidad neta anual después de impuestos, $A_{NIPI}$		243.8	0.0488
Tasa de retorno después de impuestos, $i$			
$i = 20.09 \%$			

## CAPITULO 6

### RESULTADOS

La hoja de balance elaborada en el capítulo anterior, es la herramienta más conveniente para obtener las conclusiones de este estudio -- preliminar.

Los datos que permitirán recomendar una decisión, deben ser representativos del comportamiento económico que experimente el proyecto --- durante todo el periodo de vida útil del mismo y así, conocer si es --- realmente saludable o no. Para averiguar esto, es preciso evaluar una hoja de balance para cada año de producción y de ellas obtener algunos de los indicadores más importantes de la salud económica del proyecto.

Sin embargo, antes de evaluar los indicadores se deben corregir -- los datos extraídos de acuerdo con el valor con el tiempo del dinero, - para expresar su valor real.

El dinero debe considerarse como cualquier artículo capaz de evolu- cionar y de tener un valor dependiente con el tiempo, aún cuando la in- flación y las fluctuaciones monetarias fuesen inexistentes. La varia- ción en el valor del dinero con respecto al tiempo, esta calificada con la tasa de interés o de descuento de los medios financieros, fijada --- para tal efecto.

Por consiguiente, la información correspondiente a ingresos y gas- tos en el futuro, fué multiplicada por un factor apropiado de descuento para revelar su valor en moneda actual.

El factor de descuento,  $f_D$ , es la tasa de interés  $i'$ , estimada --- para ese periodo, expresada de la siguiente forma:

$$f_D = \frac{1}{(1 + i')^n}$$

donde "n" es el año en el futuro a partir del año de referencia al que se refiere el valor monetario que quiere reflejarse en valor real;  $f_D$  e  $i'$  están expresados en fracción decimal.

Visualizar el comportamiento económico del proyecto, requiere de la información a fecha constante inicialmente manejada, y de la información corregida a valor real para conformar un análisis de flujo de capital. Precisamente por ello, a este método se le conoce como análisis de flujo de capital.

Las hojas de balance o Estado de Pérdidas y Ganancias elemental, para cada año del periodo de estudio aparecen en el Apéndice 3, a excepción de la de 1987 que se muestra en la Tabla 5.6.

El análisis de flujo de capital del proyecto se muestra en la Tabla 6.1, considerando que la tasa de interés anual vigente para todo el periodo será del 10%. Este valor es intencionalmente alto, porque el valor actual real es de 6.5% en los medios financieros internacionales, pretendiendo absorber con la diferencia la incertidumbre financiera en México.

Los parámetros obtenidos del análisis de flujo de capital son seis, cuyas definiciones son las siguientes:

- 1) Periodo de recuperación de capital (en inglés, PBF, payback period).

Es el tiempo que pasará desde el arranque de la planta, hasta que el flujo de capital acumulado sin actualizar reponga la inversión inicial del capital fijo.

- ii) Periodo de equilibrio de capital actualizado (DBEP, discounted --- break-even period). Es el tiempo que pasará desde la decisión de proceder el proyecto, hasta que el flujo de capital acumulado ---- actualizado sea positivo.
- iii) Valor presente neto (NPV, net present value). Es el valor final - que mostrará el flujo de capital acumulado actualizado al concluir el tiempo de vida útil del proyecto.
- iv) Tasa de interés  $i'$  (rate of return or interest rate). Es el inte- rés del capital proyectado al futuro, para compensar su pérdida de valor con el tiempo.
- v) Tasa de retorno después de impuestos  $i$  (aftertax rate of return). Es la tasa de retorno de capital, como ganancia después de impues- tos, que el proyecto ofrece al inversionista, referida a la inver- sión total del capital inicial.
- vi) Tasa de retorno de flujo de capital actualizado (DCFRR, discounted cash flow rate of return). Es la tasa de interés  $i'$ , necesaria -- para que el NPV sea cero.

La Figura 6.1 muestra el flujo de capital tanto actualizado como - sin actualizar del proyecto.

Los resultados del análisis de flujo de capital fueron los siguien- tes:

$$i' = 10 \%$$

$$PBP = 4.30 \text{ años.}$$

$$DBEP = 7.40 \text{ años.}$$

$$NEV = 758.60 \text{ k\$}$$

$$i_{\min} = 20.09 \%$$

$$i_{\max} = 25.18 \%$$

$$DCFRR = 17.80 \%$$

Existen numerosos índices de factibilidad adicionales, no se evaluaron porque con los mostrados aquí se puede tomar una decisión confiable, y en el caso de que fuese necesario, se podrían evaluar otros índices más para un juicio más riguroso, con la información generada durante el estudio.

TABLA 6.1 (\*)  
Análisis de flujo de capital del proyecto.

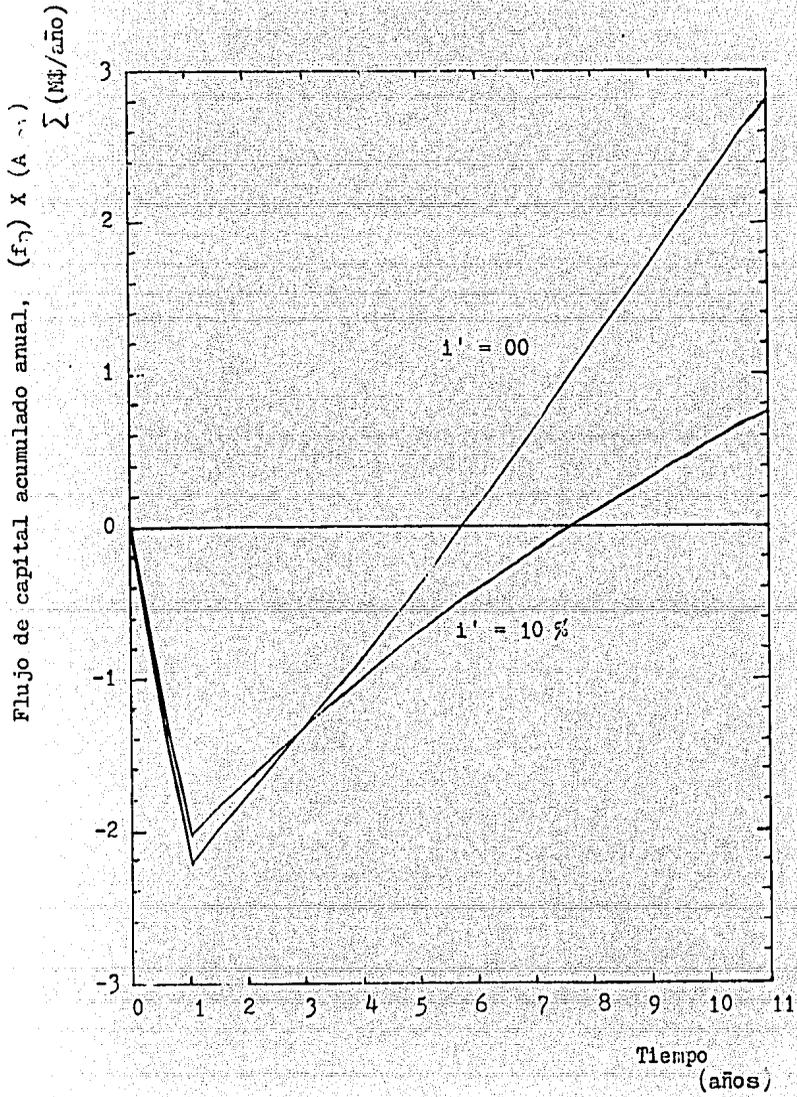
i' = 10 %

Año	Inversión de capital.	Ingresos por ventas.	Gastos totales menos depreciación.	Ingresos de efectivo.	Depreciación.	Utilidad neta.	Impuestos por ingresos.	Utilidad neta después de impuestos.	Flujo de efectivo o ingreso neto de efectivo.	Flujo de efectivo acumulado.	Factor de descuento	Flujo de efectivo actualizado.	Flujo de efectivo actualizado acumulado.
	$A_I$	$A_S$	$A_{TB} - A_{BD}$	$A_{CI}$	$A_{BD}$	$A_{MP}$	$A_{IT}$	$A_{NIP}$	$A_{NCI} = A_I + A_{BD} + A_{NIP}$	$\Sigma A_{NCI}$	$r_D$	$(F_D) \times (A_{NCI})$	$\Sigma (F_D) \times (A_{NCI})$
86 - 1	(2,217.0)								(2,217.0)	(2,217.0)	0.909	(2,015.3)	(2,015.3)
87 - 2		5,040.0	(4,350.8)	689.2	201.5	487.7	243.9	243.8	445.3	(1,771.7)	0.826	367.8	(1,647.5)
88 - 3		5,140.8	(4,429.0)	711.8	201.5	510.3	255.2	255.1	456.6	(1,315.1)	0.751	342.9	(1,304.6)
89 - 4		5,241.6	(4,507.2)	734.4	201.5	532.9	266.5	266.4	467.9	(847.2)	0.683	319.6	(985.0)
90 - 5		5,443.2	(4,663.7)	779.5	201.5	578.0	289.0	289.0	490.5	(356.7)	0.621	304.6	(680.4)
91 - 6		5,544.0	(4,741.8)	802.2	201.5	600.7	300.4	300.3	501.8	145.1	0.564	283.0	(397.4)
92 - 7		5,644.8	(4,820.1)	824.7	201.5	632.2	311.6	311.6	513.1	658.2	0.513	263.2	(134.2)
93 - 8		5,846.4	(4,976.6)	869.8	201.5	668.3	334.2	334.1	535.6	1,193.8	0.467	250.1	115.9
94 - 9		5,947.2	(5,054.8)	892.4	201.5	690.9	345.5	345.4	546.9	1,740.7	0.424	231.9	347.8
95 - 10		6,048.0	(5,133.0)	915.0	201.5	713.5	356.8	356.7	558.2	2,298.9	0.386	215.5	563.3
96 - 11		6,048.0	(5,133.0)	915.0	201.5	713.5	356.8	356.7	558.2	2,857.1	0.350	195.4	758.7

(\*) Todos los datos estan expresados en miles de dólares.

FIGURA 6.1

Perfiles del flujo de capital.



## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la información recopilada en el estudio bibliográfico y la que se desarrolló en el transcurso del estudio económico-tecnológico, las conclusiones y recomendaciones más convenientes del proyecto son las siguientes:

#### 7.1 Estudio bibliográfico.

En base a los criterios de selección tomados para el estudio, la epíclorhidrina, el hidrato de hidrazina, el ácido succínico, el ácido adípico y el ácido láctico, son productos que exhiben características favorables que los califican como económicamente interesantes y sería muy conveniente su estudio.

#### 7.2 Estudio económico-tecnológico.

La inversión de capital en el proyecto del Cianuro de sodio, bajo las condiciones económicas mostradas en el trabajo resulta favorable por los siguientes motivos:

- 1) La tasa de retorno después de impuestos  $i$ , es en todo momento superior al 20% considerado como mínimo entre los inversionistas mexicanos.
- 11) El flujo de capital del análisis es positivo porque el NPV = 758.70  $k'$  y el DEEF = 7.40 años, son indicativos de la existencia de ganancias sobre la inversión.

- iii) La tasa de retorno de flujo de capital actualizado, DCFRR de ---- 17.80 %, que refleja la tasa real del proyecto sobre la inversión, resulta superior a la tasa de interés financiera i'.
- iv) El periodo de recuperación del capital, PBP, de 4.30 años, resulta ser menor al plazo normalizado en la industria nacional.

La tecnología del proceso, por otra parte, presenta los siguientes hechos:

- i) El impacto económico por el consumo del vapor de agua requerido -- por el proceso, sobre el costo de producción del Cianuro de sodio es muy alto, considerando que el vapor de agua es sólo un servicio. Esto significa que se requiere de una optimización posterior del - uso del vapor de agua.
- ii) Las condiciones de operación del proceso, aun cuando estan soporta das en reportes de investigaciones experimentales, no han sido com probadas en campo.

Los gastos requeridos para llevar a cabo, preliminarmente, estos - dos últimos puntos, no afectan la validez del estudio, por la existen- cia del concepto de patentes y regalías dentro de los costos de manufac tura del producto. Esta consideración es posible, porque el proyecto - considera en primer instancia una tecnología propia o la adaptación de una tecnología del dominio público que no requiera del pago de derechos.

En suma, considerando todo lo recopilado por el estudio, se tiene:

En conclusión, por las razones expuestas hasta ahora, se recomienda continuar con el análisis, a un nivel más profundo, de la instalación de una planta a nivel industrial, con una capacidad para seis mil toneladas anuales, para la producción de Cianuro de sodio, por considerarlo un --- proceso económicamente saludable.

AFENDICE 1  
 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS  
 DEL CIANURO DE SODIO

<u>Propiedad</u>	<u>Valor</u>
Punto de fusión, °C	
100 % de concentración	563.70 (± 1)
98 % de concentración	560.00
Punto de ebullición, °C	1,500.00
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	
cúbico	1.60
ortorómbico	1.620 - 1.624
licuado	1.22
Constante de hidrólisis, 25°C	2.51 X 10 <sup>-5</sup>
Presión de vapor, mm Hg	
800°C	0.7598
1,000°C	12.3900
1,200°C	89.2500
Capacidad calorífica, 25 - 72°C, J/g	1.38
Calor de fusión, J/g	314.00
Calor de formación, NaCN, J/mol	- 8.9 X 10 <sup>4</sup>
Calor de solución, J/mol	1,510.00

AFENDICE 2  
MEMORIAS DE CALCULO  
DEL DISEÑO DE EQUIPO

Nombre : Reactor.

Número de identificación : R - 110.

Función : Recipiente de reacción, donde tendrá lugar la producción de Cianuro de sodio a partir de ácido cianhídrico e hidróxido de sodio en solución acuosa.

Criterios de selección :

- i) El Cianuro de sodio producido en el reactor, debe ser mantenido en el seno de la solución, para evitar la incrustación de la superficie del equipo.
- ii) El reactor debe ser capaz de transferir el calor de reacción, eficientemente para evitar la descomposición del NaCN.
- iii) La alcalinidad de la solución se logrará mediante la recirculación de una corriente proveniente de la etapa de separación.

Tipo : C.S.T.R. con chaqueta de enfriamiento.

Operación : Continua.

Criterio de cálculo :

Para propósitos de la estimación económica, el tiempo de residencia del producto en el reactor es la limitante del diseño del equipo.

Un tiempo de residencia de 30 minutos será suficiente para -- permitir una homogeneización completa de la mezcla de reacción y una adecuada transferencia de calor.

El volumen de trabajo del reactor será un 50 % del volumen --  
total, como factor de seguridad de la estimación.

Cálculos :

$\theta = 30$  min. tiempo de residencia.  
 $W = 2,628.60$  kg/h caudal másico del efluente.  
 $\rho = 1.30$  kg/dm<sup>3</sup> densidad estimada del efluente.

Volumen de trabajo

$$V_R = \theta \times \frac{W}{\rho}$$

$$V_R = 1.01 \text{ m}^3$$

Volumen total

$$V = 2 V_R$$

$$V = 2.00 \text{ m}^3$$

Considerando una relación  $L = 2 D$

$$D = \left( \frac{4 V}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$D = 1.08 \text{ m.}$$

$$L = 2.17 \text{ m.}$$

Caudal de agua de enfriamiento

$Q = 8,746.17$  cal/mol calor de reacción.

$W = 1,169.30$  kg/h producción de NaCN.

$M = 49.00$  g/mol peso molecular del NaCN.

$C_p = 1.00$  kcal/kg calor específico, agua de enfriamiento.

$T_1 = 10^\circ\text{C}$  temperatura inicial, agua de enfriamiento.

$T_2 = 30^\circ\text{C}$  temperatura final, agua de enfriamiento.

$$Q' = W \times \frac{Q}{M}$$

$$Q' = 208,712.18 \text{ kcal/h.}$$

$$m = \frac{Q'}{C_p \cdot \Delta T}$$

$$m = 10,440.00 \text{ kg/h}$$

$$v = 10.44 \text{ m}^3/\text{h}$$

Un reactor comercial de  $2.00 \text{ m}^3$  esta equipado con un agitador de -  
120 rpm impulsado con un motor de 5.00 HP.

Por la naturaleza del proceso, el material adecuado del reactor es  
acero al carbón vidriado.

Nombre : Sistema de cristalización

Número de identificación : P - 201

Función : Inducir la cristalización del Cianuro de sodio, por medio de la sobresaturación de la solución alimentada.

Criterios de selección :

- i) La cristalización producida no debe provocar ningún tipo de incrustación en el sistema de cristalización.
- ii) El proceso de cristalización debe involucrar incrementos mínimos de temperatura en la solución, para minimizar la descomposición del NaCN.
- iii) El tamaño de los cristales de NaCN inducidos, debe ser controlado para homogeneizar el producto.

Operación : Continua.

Cálculos :

Se fijó la temperatura de evaporación de la solución dentro del -- cristizador en 55°C, porque evaluaciones experimentales de soluciones de NaCN con un 2.00 % de NaOH, señalan una descomposición de la sal en menos del 0.04 %.

La presión de vapor de la solución en equilibrio se evaluó en --- 1.0758 psia que corresponde a la presión de saturación del agua a 40°C.

La comprobación de esta afirmación se efectuó por medio de la fig. 11-18, del Perry (12), para un soluto similar al NaCN y al NaOH de la solución.

Con  $T_b = 40^\circ\text{C}$  temperatura de ebullición del agua pura.  
 $x_w = 45\%$  concentración en peso del soluto.

De la fig. 11-18 se tiene

$$\begin{aligned} \text{b.p.r.} &= 31.00^\circ\text{F} && \text{elevación de la temperatura de ebullición} \\ &= 17.20^\circ\text{C} && \text{del agua por el soluto iónico disuelto.} \end{aligned}$$

La temperatura de ebullición de la solución ( $57.20^\circ\text{C}$ ) se aproxima a la supuesta en el cálculo, por lo que se aceptó este valor.

Por lo tanto, las condiciones de operación del equipo son:

$$\begin{aligned} T &= 55.00^\circ\text{C.} \\ P &= 1.0758 \text{ psia} \\ &= 55.60 \text{ mm Hg.} \end{aligned}$$

Dimensiones :

Evaluaciones experimentales efectuadas en cristalizadores comerciales, indican que se pueden obtener cristales de  $\text{CaCl}_2$  de  $80 \mu\text{m}$  en promedio, con un tiempo de residencia de 1.30 horas. Para el estudio, el tiempo se fijó en 1.50 horas.

$$\begin{aligned} \theta &= 1.30 \text{ h.} && \text{tiempo de residencia.} \\ W_L &= 1,793.60 \text{ kg/h} && \text{caudal másico del efluente.} \\ \rho &= 1.34 \text{ kg/dm}^3 && \text{densidad del "slurry" efluente.} \end{aligned}$$

Volumen de trabajo

$$V = \theta \times \frac{W_L}{\rho}$$

$$V = 2.00 \text{ m}^3$$

Velocidad máxima del vapor

$$\rho_1 = 0.9861 \text{ g/dm}^3 \quad \text{densidad del agua.}$$

$$\rho_2 = 0.0001 \text{ g/dm}^3 \quad \text{densidad del vapor de agua.}$$

$$v_m = 0.06 \times \left[ \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} \right]^{1/2}$$

$$v_m = 1.78 \text{ m/seg}$$

Diámetro mínimo del recipiente

$M = 834.97 \text{ kg/h}$  caudal másico del vapor generado.

$$A_m = \frac{M}{P_2 \times v_m}$$

$$A_m = 1.25 \text{ m}^2$$

Redondeando a un valor comercial

$$A = 1.263 \text{ m}^2$$

$$v = 1.754 \text{ m/seg.}$$

Transferencia de calor

$T_2 = 40.00^\circ\text{C}$  temperatura de alimentación, solución.

$T_1 = 55.00^\circ\text{C}$  temperatura de ebullición, solución.

$C_{p1} = 0.9991 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  calor específico promedio, agua.

$C_{p2} = 0.3558 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  calor específico promedio, NaOH.

$C_{p3} = 0.3433 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  calor específico promedio, NaCN.

$\Delta H_{vap} = 574.376 \text{ cal/g}$  calor latente de vaporización, agua.

$W_c = 699.72 \text{ kg/h}$  caudal másico de cristales producidos, NaCN.

$\Delta H_{sol} = 7.365 \text{ cal/g}$  calor de solución del NaCN en agua.

Considerando un cambio despreciable del  $\Delta H_{sol}$  con la temperatura, el calor requerido para elevar la temperatura de la alimentación - de 40 a 55°C es

$$Q_1 = \sum_{i=1}^3 (m_i \times C_{p_i}) \times (T_2 - T_1) \quad \text{para } H_2O, \text{ NaCN y NaOH.}$$

$$Q_1 = 27,593.73 \text{ kcal/h}$$

El calor de vaporización es

$$Q_2 = (\Delta H_{vap}) \times (M)$$

$$Q_2 = 479,584.11 \text{ kcal/h}$$

El calor de cristalización es

$$Q_3 = (-\Delta H_{sol}) \times (W_c)$$

$$Q_3 = -5,153.652 \text{ kcal/h}$$

Por lo tanto, los requerimientos totales de calor son

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 502,024.00 \text{ kcal/h}$$

Superficie de transferencia de calor.

Como las fuentes de información emplean unidades de medida -- inglesas, se usarán éstas en los cálculos, haciendo la conversión al resultado.

$U = 140.00 \text{ BTU/h ft}^2 \cdot \text{F}$  @  $T = 131.00 \text{ F}$  coeficiente global de transferencia de calor.

$t_1 = t_2 = 327.82 \text{ F}$  temperatura de saturación de vapor de agua a 100 psia.

Suponiendo que el medio de calentamiento es vapor saturado a 100 - psia

$$LMTD = \frac{(t_2 - T_1) - (t_1 - T_2)}{\ln \frac{t_2 - T_1}{t_1 - T_2}}$$

$$LMTD = 210 \text{ F}$$

$$A = \frac{Q}{(U) \times (LMTD)}$$

$$A = 67.76 \text{ ft}^2$$

$$= 6.30 \text{ m}^2$$

Como el cristizador es de circulación forzada, el intercambiador de calor es externo.

El agitador del cristalizador debe ser axial, de 190 rpm, impulsado por un motor de 2.00 HP.

El material de construcción del sistema debe ser de acero inoxidable SS-304 L.

El vacío del cristalizador se hará por medio de un eyector a base de vapor de agua, equipado con un condensador barométrico.

Nombre : Bomba de recirculación.

Número de identificación : L - 211

Función : Impulsar a la solución de NaCN en agua a través del intercambiador de calor del sistema de cristalización.

Tipo : Centrífuga.

Operación : Continua.

Cálculos :

Se considerará preliminarmente que la recirculación será equivalente a cuatro veces el volumen de trabajo del cristalizador.

$$\rho_3 = 1.2 \text{ kg/dm}^3 \quad \text{densidad de la solución saturada.}$$

$$W_R = (\rho_3) \times (V)$$

$$W_R = 9,709.64 \text{ kg/h.}$$

El balance de energía en la bomba es

$$\Delta z = 00$$

$$\Delta v = 00$$

$$\Delta P = 14.00 \text{ lb/in}^2 \quad \text{suponiendo que la caída de presión limitante es la del intercambiador de calor.}$$

Por lo tanto, el cabezal dinámico total será

$$H = \frac{\Delta P}{\rho_3}$$

$$H = 27.00 \text{ ft.}$$

La potencia de la bomba necesaria es

$$S = 1.20 \quad \text{gravedad específica de la solución.}$$

$$Q_R = 35.63 \text{ gal/min} \quad \text{caudal volumétrico de la solución.}$$

$$HP = \frac{(H) \times (S) \times (Q_R)}{3,960}$$

$$HP = 0.29$$

Si la eficiencia mecánica total de la bomba es de 70.0 %

$$HP_{brake} = \frac{HP}{\epsilon}$$

$$HP_{brake} = \frac{1}{2}$$

Material de construcción : Todas las partes en contacto con la ---  
corriente de proceso deben ser de acero  
inoxidable.

Nombre : Bomba de descarga.

Número de identificación : L - 214

Función : Impulsar el "slurry" formado en el sistema de cristalización al tanque de retención.

Tipo : Bomba centrífuga con impulsor abierto, para manejar sólidos en suspensión.

Operación : Continua.

Criterios de cálculo :

- i) La corriente de proceso que manejará la bomba, se considerará como un "slurry" cuyos sólidos son sedimentables rápidamente.
- ii) El balance de energía se hará sobre el caso extremo, de una tubería vertical.

Cálculos :

La expresión para el balance de energía, ecuación 5-155 del Perry, es la siguiente

$$i_M = (i_L) \times \left[ (c) \times \left( \frac{\rho_s}{\rho_L} - 1.0 \right) + 1.0 \right]$$

$i_M$  = gradiente de presión del "slurry", ft. de líquido por ft. de tubería.

$i_L$  = gradiente de presión del líquido, ft. de líquido por ft. de tubería.

$c$  = concentración del NaCN, como fracción de volumen, adimensional.

$\rho_s$  = densidad del NaCN, lb/ft<sup>3</sup>

$\rho_L$  = densidad del agua, lb/ft<sup>3</sup>

Es necesario evaluar primero  $i_L$ , para lo cual es necesario un balance de energía en la bomba.

$\Delta z = 50.00 \text{ ft}$	altura estimada a la que se elevará la --
$= 15.24 \text{ m}$	tubería.
$L_{eq} = 100.00 \text{ ft}$	longitud equivalente total del sistema.
$= 30.48 \text{ m}$	
$D = 1.00 \text{ in}$	diámetro propuesto para la tubería.
$W = 1,793.60 \text{ kg/h}$	caudal másico manejado por la bomba.
$\rho_l = 62.40 \text{ lb/ft}^3$	densidad del agua.
$\mu_l = 1.38 \text{ cp}$	viscosidad del agua.
$W_s = 699.72 \text{ kg/h}$	caudal másico del NaCN en el "slurry".
$W_l = 1,093.87 \text{ kg/h}$	caudal másico del $H_2O$ en el "slurry".

$$v = \frac{4 W}{(\rho) \times (\pi) \times (D^2)}$$

$$v = 2.41 \text{ ft/seg}$$

El número de Reynolds

$$Re = \frac{(D) \times (v) \times (\rho_l)}{\mu_l}$$

$$Re = 1.35 \times 10^4$$

El factor de fanning, de la fig. 5-26 del Perry (12)

$$f = 0.008 \quad @ \text{ Re} = 1.35 \times 10^4$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0018 \quad \text{tabla 5-26 del Perry}$$

Con la información obtenida hasta ahora, se hará el balance de energía alrededor de la bomba, considerando que el fluido que maneja es únicamente agua

$$H_L = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho_l} + (f) \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$

$$H_L = 82.31 \text{ ft}$$

de donde

$$I_L = \frac{H_L}{100 \text{ ft}}$$

$$i_L = 0.8231$$

La concentración volumétrica del NaCN en el "slurry" será

$$\rho' = 1.20 \text{ kg/dm}^3 \quad \text{densidad de la solución saturada de NaCN.}$$

$$\rho_s = 1.60 \text{ kg/dm}^3 \quad \text{densidad del NaCN.}$$

$$c = \frac{w_s / \rho_s}{w_l / \rho' + w_s / \rho_s}$$

$$c = 0.324$$

Por lo tanto, el gradiente de presión del "slurry" será

$$i_M = 2.018$$

El cabezal dinámico del "slurry"

$$H = (i_M) \times (100 \text{ ft})$$

$$H = 201.76 \text{ ft}$$

La potencia de la bomba

$$S = 1.34 \quad \text{gravedad específica del "slurry".}$$

$$Q' = 5.89 \text{ gal/min} \quad \text{caudal volumétrico del "slurry".}$$

$$HP = \frac{(H) \times (S) \times (Q')}{3,960}$$

$$HP = 0.402$$

Considerando una eficiencia mecánica del 50.0 %

$$HP_{brake} = \frac{HP}{\xi}$$

$$HP_{brake} = 0.804$$

$$= 1.00 \text{ HP}$$

Nombre : Separador centrífugo.

Número de identificación : H - 310

Función : Separar del "slurry" alimentado, los cristales de NaCN, ---  
recirculando la solución filtrada al proceso.

Criterios de selección :

- i) El tamaño de los cristales será de  $80\ \mu\text{m}$ . en promedio.
- ii) La composición de los cristales en el "slurry" es de 39 % en peso.
- iii) La separación entregará un producto sólido con un 10 % máximo de líquido residual adherido a su superficie (5.40 % de  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Tipo : Separador centrífugo de canasta suspendida (top-suspended -  
centrifugal filter).

Operación : Alimentación cíclica, con descarga de cristales en forma --  
cíclica-automática.

Especificación de equipo :

Diámetro de canasta = 40 in. = 1.02 m.

Potencia del motor = 40.00 HP.

Posición = Vertical.

Material de construcción = Todas las partes en contacto con las --  
corrientes del proceso, deberán ser de  
acero inoxidable.

Nombre : Sistema de secado neumático.

Número de identificación : P - 401

Función : Extraer la humedad excesiva de los cristales de NaCN.

Criterios de selección :

- 1) El Cianuro de sodio en presencia de agua, puede descomponerse a formiato de sodio con mucha facilidad, si la temperatura es superior a 50°C.
- ii) El ciclo de secado de los cristales debe ser lo más corto posible, para evitar un sobrecalentamiento de los mismos.

Tipo : Sistema de secado neumático.

Operación : Continua.

Criterios de cálculo :

- 1) La evaporación de la humedad de los sólidos será a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado (95°F), resultando en una operación adiabática.
- ii) El aire de secado alimentado a la etapa, tendrá las condiciones promedio de 20°C y 60 % de humedad relativa, el cual será calentado a 215°F para el proceso.
- iii) La composición de humedad en los cristales, al final del secado, será de 0.60 % de H<sub>2</sub>O, en peso.

Cálculos :

Las fuentes de consulta utilizadas emplean unidades de medida inglesas, mismas que fueron usadas haciendo la conversión al sistema CGS a los resultados.

$W_1 = 42.50 \text{ kg/h}$  contenido inicial de agua en los cristales.

$W_2 = 4.25 \text{ kg/h}$  contenido final de agua en los cristales.

$$W = W_1 - W_2$$

$$W = 38.25 \text{ kg/h}$$

Requerimientos de calor, para el secado de los cristales

$$\Delta H_{vap} = 1,039.89 \text{ BTU/lb} \quad \text{calor de vaporización del agua, @ } T = 95^\circ\text{F.}$$

$$Q = (W) \times (\Delta H_{vap})$$

$$Q = 87,614.57 \text{ BTU/h}$$

$$= 22,078.87 \text{ kcal/h}$$

Volumen de aire de secado requerido

$$v = 4,500.00 \text{ ft/min} \quad \text{velocidad del aire, tabla 7-13 del Perry (12).}$$

$$D = 8.00 \text{ in} \quad \text{diámetro del ducto del secador.}$$

$$M = 1,750.00 \text{ ft}^3/\text{min} \quad \text{volumen de aire requerido por el secador,}$$

$$= 105,000.00 \text{ ft}^3/\text{h} \quad \text{fig. 7-13 del Perry (12).}$$

$$H_1 = 0.0078 \text{ lb}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{lb}_{\text{a.s.}} \quad \text{humedad del aire a } 215^\circ\text{F.}$$

$$\bar{V}_1 = 17.00 \text{ ft}^3/\text{lb}_{\text{a.s.}} \quad \text{volumen específico del aire a } 215^\circ\text{F.}$$

Volumen de aire seco

$$\bar{M} = \frac{H_1}{\bar{V}_1}$$

$$\bar{M} = 6.176.47 \text{ lb}_{\text{a.s.}}/\text{h}$$

Caudal de humedad en el aire inicialmente

$$h_1 = (H_1) \times (\bar{M})$$

$$h_1 = 48.18 \text{ lb}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$$

Caudal de humedad en el aire a la salida del secador

$$h_2 = (h_1) + (W)$$

$$h_2 = 132.43 \text{ lb}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{h}$$

Humedad final del aire

$$H_2 = \frac{h_2}{\bar{M}}$$



$$\begin{aligned}
 v &= 11.00 \text{ ft}^3 \\
 &= 0.312 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Longitud del secador

$$L = \frac{4v}{(\pi) \times (D^2)}$$

$$L = 31.50 \text{ ft}$$

Relación L/D del sistema

$$\frac{L}{D} = 42.25$$

que cumple con el requisito de diseño de  $L/D < 50.00$  (pag. 20-51 - del Perry).

La potencia del soplador, según la fig. 7-13 del Perry (12), debe ser de 25.00 HP.

Para evitar contaminación de instalaciones por fugas de NaCN, en alguna parte del sistema, el soplador debe de ser de tiro inducido.

El material de construcción del equipo, debe ser acero inoxidable SS-304 L, para todas las partes en contacto con la corriente de proceso.

Nombre : Prensa de rodillos

Número de identificación : S - 510

Función : Aglomerar los cristales de Cianuro de sodio, en gránulos de 5.00 mm. de tamaño.

Criterios de selección :

- i) Los cristales tienen un tamaño inicial promedio de  $80\ \mu\text{m.}$ , -- con propiedades tóxicas muy notables.
- ii) El medio de compactación no debe ocasionar consumos elevados de energía.
- iii) La eficiencia del proceso de compactación debe ser alta, para evitar la recirculación de grandes volúmenes de material, situación que aumentaría la probabilidad de degradación del --- NaCN.

Tipo : Prensa de rodillos (roll-type press).

Operación : Continua.

Especificaciones de equipo :

El equipo comercial adecuado para el proceso, tiene las siguientes características (6, 12)

Medio de compactación : Presión-temperatura.

Rango de presión aplicable : 3,400 - 5,500 atm.

Capacidad de aglomeración nominal : 740.00 kg/h.

Material de construcción : Las partes en contacto con el material de proceso, deben ser de acero inoxidable.

Nombre : Criba.

Número de identificación : H - 520

Función : Seleccionar el tamaño adecuado del producto, recirculando -  
al proceso todo el material fuera de especificaciones.

Criterios de selección :

- i) Los gránulos de NaCN deben tener un tamaño final de 5.00 mm.  
por lado.
- ii) La selección debe realizarse en tal forma que el material ---  
fuera de especificaciones sea recirculado sin contaminarse.

Tipo : Criba vibratoria oscilante.

Operación : Continua.

Especificaciones de equipo :

Las características del equipo más apropiado para las condiciones  
del proceso son

Número de mallas clasificadoras : Dos

Diámetro de las superficies de clasificación : 30.00 in.

Potencia del motor :  $\frac{1}{2}$  HP.

Capacidad de clasificación : 740.00 kg/h

Material de construcción : Todas las partes en contacto --  
con el material de proceso, de-  
ben ser de acero inoxidable.

Nombre : Sistema de transporte neumático.

Número de identificación : P - 601

Función : Transportar los cristales de NaCN provenientes de la criba, a la tolva de empaque.

Criterios de selección :

El sistema de transportación debe minimizar las posibilidades de - contaminar al producto y de diseminar el mismo en el área de proceso (fugas).

Tipo : Transporte neumático a presión negativa.

Operación : Continua.

Cálculos :

$\rho$  = 60.00 lb/ft<sup>3</sup> densidad "bulk" estimada del NaCN.  
 = 0.962 g/cm<sup>3</sup>

$L_{eq}$  = 150 ft longitud equivalente total del sistema.  
 = 45.72 m.

$W$  = 740.00 kg/h capacidad de transportación del sistema.

$v$  = 7,150.00 ft/min  
 velocidad del aire, tabla 7-13 del Perry.

$D$  = 3.00 in diámetro del ducto del sistema.

$Q$  = 380.00 ft<sup>3</sup>/min  
 volumen de aire requerido, fig. 7-13 del Perry.

$RS$  = 1.00 relación de sólidos del sistema, misma fig.

$FD$  = 140.00 factor de diseño del sistema, misma fig.

$\Delta P/100$  = 1.40 lb/in<sup>2</sup> caída de presión por cada 100 ft. de longitud de ducto, misma fig.

$P$  = 5.00 HP potencia requerida por el soplador, misma fig.

Nombre : Eyector de vacío.

Número de identificación : G - 213

Función : Crear el vacío necesario en el cristalizador, para la correcta operación del proceso.

Criterios de selección :

- i) Creación eficiente de vacío, por medio de un equipo con bajo mantenimiento.
- ii) El equipo empleado no debe ser afectado por las cantidades -- (mínimas) de acrilonitrilo y acetona, contenidas en los vapores extraídos.

Criterios de cálculo :

- i) Para simplicidad de cálculos se consideró que toda la corriente extraída por el eyector es vapor de agua.
- ii) El fluido generador del vacío, es vapor de agua saturado a -- 100 psia

Cálculos :

Necesidades de vapor

$P_a = 100.00$ psia	presión del vapor de agua.
$P_b = 1.076$ psia	presión de succión del eyector.
$P_3 = 14.70$ psia	presión de descarga del eyector.
$\frac{P_3}{P_b} = 13.66$	relación de compresión del eyector.

De la fig. 6-72 del Perry (12) se obtiene

$$\frac{w_b}{w_a} = 0.045 \quad @ \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_3}{P_b} = 10.00 \text{ (valor máximo registrado)} \\ \frac{P_b}{P_a} = 0.0108 \end{array} \right.$$

donde  $w_b$  = libras de vapor necesarias para operar el eyector.

$w_o$  = libras de la corriente de succión.

Es necesario una corrección por temperaturas

$M_o = 18.00$  g/g mol      peso molecular del vapor de agua para el vacío.

$M_b = 18.00$  g/g mol      peso molecular del agua extraída por el eyector.

$T_o = 328.00$  'F      temperatura de saturación del vapor de --  
= 164.44 'C      agua a 100.00 psia.

$T_b = 131.00$  'F      temperatura de la corriente extraída.  
= 55.00 'C

La efectividad del eyector será

$$\frac{w}{w_o} = \frac{w_b}{w_o} \times \left[ \frac{T_o \times M_b}{T_b \times M_o} \right]^{1/2}$$

$$\frac{w}{w_o} = 0.0712$$

donde  $w$  son las libras succionadas por el eyector para crear el vacío.

El caudal de vapor necesario será

$$w = 835.00 \text{ kg/h}$$

$$= 1,839.21 \text{ lb/h}$$

$$w_o = \frac{w}{0.0712}$$

$$w_o = 25,831.50 \text{ lb/h}$$

$$\hat{=} 11,900.00 \text{ kg/h}$$

Para la evaluación económica del eyector, se tuvo que calcular el equivalente de la corriente succionada, en aire a 70.00°F.

La equivalencia se hizo con la ayuda de las figuras 6-17 y 6-18 -- del Ludwig (18).

$$w = 1,839.21 \text{ lb/h}$$

La primera corrección, o factor de arrastre, de la fig. 6-17 es

$$\xi = 0.988$$

$$f = \frac{w}{\xi}$$

$$f = 1,861.55$$

La segunda corrección, por pesos moleculares es

$$\xi' = 0.81$$

$$g = \frac{f}{\xi'}$$

$$g = 2,298.20 \text{ lb/h}$$

donde  $g$  es el equivalente a aire a 70.00°F.

Nombre : Tanque de retención.

Número de identificación : F - 320

Función : Asegurar el suministro adecuado de "slurry" al equipo de --  
separación.

Tipo : Tanque cilíndrico vertical atmosférico, con tapa plana y --  
fondo cónico.

Operación : Alimentación continua y descarga cíclica.

Criterios de cálculo :

- i) El ángulo de inclinación del fondo será de 45'.
- ii) El tiempo de residencia máximo del "slurry" será de una hora.
- iii) La relación L/D del tanque será de 1.00 .

Calculos :

El volumen del cuerpo cilíndrico del tanque será

$\rho = 1.34 \text{ kg/dm}^3$  densidad del "slurry".

$\theta = 1.00 \text{ h}$  tiempo de residencia del "slurry".

$W = 1,793.60 \text{ kg/h}$  caudal másico del "slurry" alimentado al  
tanque.

$$V_1 = \frac{W}{\rho} \times (\theta)$$

$$V_1 = 1.05 \text{ m}^3$$

El diámetro del tanque será

$$D = \left[ \frac{4 \cdot V_1}{\pi} \right]^{1/3}$$

$$D = 1.10 \text{ m}$$

El volumen del fondo cónico se evaluó, conociendo la altura del --  
mismo, el cual debe ser

$$\frac{(D) \times (\tan 45')}{2}$$

$$h = 0.55 \text{ m.}$$

De la tabla 6-53 del Perry (12)

$$V_2 = \frac{(\pi r) \times (h) \times (D^2 + D \cdot d + d^2)}{12}$$

$$V_2 = 0.18 \text{ m}^3$$

donde  $d = 3.00 \text{ in.}$  es el diámetro de descarga del fondo del tanque

El volumen total será

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 1.23 \text{ m}^3$$

Nombre : Tolva de empaque.

Número de identificación : F - 620

Función : Proporcionar el tiempo de retención suficiente al NaCN, ---  
entre su producción continua y su empaque,

Tipo : Tanque cilíndrico vertical atmosférico, con tapa plana y --  
fondo cónico.

Operación : Alimentación continua y descarga cíclica.

Criterios de cálculo :

- i) El ángulo de inclinación del fondo será de 45'.
- ii) La relación L/D del tanque será de 2.00 .
- iii) El tiempo de residencia máximo del producto será de 4.00 horas.

Cálculos :

El volumen del cuerpo cilíndrico será

$\rho = 0.962 \text{ kg/dm}^3$  densidad "bulk" del NaCN.

$\theta = 4.00 \text{ h}$  tiempo de residencia máximo.

$W = 740.00 \text{ kg/h}$  caudal másico del producto alimentado.

$$V_1 = \frac{W}{\rho} \times (\theta)$$

$$V_1 = 2.67 \text{ m}^3$$

de donde el diámetro del tanque sería  $D = 1.194 \text{ m}$ .

La altura del fondo cónico esta expresada por

$$h = \frac{(D) \times (\tan 45')}{2}$$

$$h = 0.60 \text{ m}.$$

El volumen del fondo cónico del tanque, de la tabla 6-53 del Perry

$$V_2 = \frac{(\pi) \times (h) \times (D^2 + D \cdot d + d^2)}{12}$$

$$V_2 = 0.24 \text{ m}^3$$

donde  $d = 4.00$  in. es la descarga del fondo cónico del tanque.

El volumen total será

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 2.92 \text{ m}^3$$

APENDICE 3

HOJAS DE BALANCE DEL PROYECTO

HOJA DE BALANCE DE 1988.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>	Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, C <sub>FC</sub>	2,015.0 k\$	
Capital de trabajo, C <sub>WC</sub>	202.0 k\$	
Capital total, C <sub>TC</sub>	2,217.0 k\$	
<b>Costo</b>	<b>k\$/año</b>	<b>\$/kg</b>
<b>Gastos directos de manufactura.</b>		
Materias primas.	2,059.1	0.4037
Personal de operación.	44.6	0.0087
Personal de supervisión y oficinas.	4.5	0.0009
Servicios.		
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,134.8	0.2226
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3	0.0030
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.4	0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	73.4	0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.4	0.0005
Mantenimiento.	120.0	0.0235
Accesorios de operación.	18.0	0.0035
Gastos de laboratorio.	6.7	0.0013
Patentes y regalías.	138.9	0.0272
Total de directos, A <sub>DM</sub>	3,619.1	0.7096
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>		
Gastos diversos del personal.	67.6	0.0133
Impuestos locales.	30.2	0.0059
Seguros.	0.6	0.0001
Total de indirectos, A <sub>IM</sub>	98.4	0.0193
Total de gastos de manufactura, A <sub>MD</sub>	3,717.5	0.7289
Depreciación, A <sub>ED</sub>	201.5	0.0395
<b>Gastos generales.</b>		
Gastos administrativos.	16.9	0.0033
Costos de distribución y venta.	465.0	0.0908
Investigación y desarrollo.	231.3	0.0454
Total de generales, A <sub>GG</sub>	711.5	0.1295
Total de gastos, A <sub>GD</sub>	4,630.5	0.9079
Ingresos por ventas (5.1 X 10 <sup>6</sup> t/año @ 1.005 \$/kg), A <sub>I</sub>	5,140.8	1.0050
Utilidad neta anual, A <sub>UN</sub>	510.3	0.1001
Impuestos por ingresos, A <sub>II</sub>	(255.2)	(0.0500)
Utilidad neta anual después de impuestos, A <sub>UNI</sub>	255.1	0.0500
Tasa de retorno después de impuestos, 1		
1 = 20.00 %		

## HOJA DE BALANCE DE 1989.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, CFC	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, CW	202.0 k\$		
Capital total, CTC	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año	\$/kg	
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,099.5		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0086
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0009
Servicios.			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,157.0		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0029
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.5		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	74.9		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.4		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0231
Accesorios de operación.	18.0		0.0035
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0013
Patentes y regalías.	141.2		0.0272
Total de directos, AD <sub>DT</sub>	3,685.6	3,685.6	0.7088
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0130
Impuestos locales.	30.2		0.0058
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, AI <sub>DT</sub>	98.4	98.4	0.0189
Total de gastos de manufactura, A <sub>DT</sub>		3,784.0	0.7277
Depreciación, A <sub>LD</sub>		201.5	0.0388
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0033
Costos de distribución y venta.	470.8		0.0905
Investigación y desarrollo.	235.5		0.0453
Total de generales, A <sub>GG</sub>	723.2	723.2	0.1391
Total de gastos, A <sub>DTG</sub>		4,708.7	0.9056
Ingresos por ventas (5.2 X 10 <sup>6</sup> kg/año @ 1.008 \$/kg), A <sub>IV</sub>	5,241.6		1.0080
Utilidad neta anual, A <sub>UN</sub>	532.9		0.1025
Impuestos por ingresos, A <sub>II</sub>	(266.5)		(0.0513)
Utilidad neta anual después de impuestos, A <sub>UNF</sub>	266.4		0.0512
Tasa de retorno después de impuestos, i			
i = 21.11 %			

## HOJA DE BALANCE DE 1990.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FF}$	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, $C_{WC}$	202.0 k\$		
Capital total, $C_{TC}$	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,180.3		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0083
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
<b>Servicios.</b>			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,201.5		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0028
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.5		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	77.8		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.5		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0222
Accesorios de operación.	18.0		0.0033
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0012
Patentes y regalías.	145.9		0.0270
Total de directos, $A_{DM}$	3,818.6	3,818.6	0.7071
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0125
Impuestos locales.	30.2		0.0056
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, $A_{IME}$	98.4	98.4	0.0182
Total de gastos de manufactura, $A_{ME}$		3,917.0	0.7253
Depreciación, $A_{ED}$		201.5	0.0373
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0031
Costos de distribución y venta.	486.5		0.0901
Investigación y desarrollo.	243.3		0.0451
Total de generales, $A_{GD}$	746.7	746.7	0.1383
Total de gastos, $A_{GG}$		4,865.2	0.9009
Ingresos por ventas ( $5.4 \times 10^6$ kg/año @ 1.008 \$/kg), $A_I$		5,443.2	1.0080
Utilidad neta anual, $A_U$		578.0	0.1070
Impuestos por ingresos, $A_{IP}$		(289.0)	(0.0535)
Utilidad neta anual después de impuestos, $A_{UN}$		289.0	0.0535
Tasa de retorno después de impuestos, $i$			
1 = 22.12 %			

## HOJA DE BALANCE DE 1991.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, C <sub>1</sub>	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, C <sub>2</sub>	202.0 k\$		
Capital total, C <sub>3</sub>	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,220.6		0.4037
Personal de operación.	44.6		0.0081
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
<b>Servicios.</b>			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,223.8		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0028
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.6		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	79.2		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.6		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0218
Accesorios de operación.	18.0		0.0033
Costos de laboratorio.	6.7		0.0012
Patentes y regalías.	148.3		0.0270
Total de directos, A <sub>1</sub>	3,885.2	3,885.2	0.7064
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0123
Impuestos locales.	30.2		0.0055
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, A <sub>2</sub>	98.4	98.4	0.0179
Total de gastos de manufactura, A <sub>3</sub>		3,983.6	0.7243
Depreciación, A <sub>4</sub>		201.5	0.0366
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0031
Costos de distribución y venta.	494.3		0.0899
Investigación y desarrollo.	247.0		0.0449
Total de generales, A <sub>5</sub>	758.2	758.2	0.1379
Total de gastos, A <sub>6</sub>		4,943.3	0.8988
Ingresos por ventas (5.5 X 10 <sup>6</sup> kg/año @ 1.008 \$/kg), A <sub>7</sub>		5,544.0	1.0080
Utilidad neta anual, A <sub>8</sub>		600.7	0.1092
Impuestos por ingresos, A <sub>9</sub>		(300.4)	(0.0546)
Utilidad neta anual después de impuestos, A <sub>10</sub>		300.3	0.0546
Tasa de retorno después de impuestos, i			
i = 22.63 %			

## HOJA DE BALANCE DE 1992.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FF}$	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, $C_{FD}$	202.0 k\$		
Capital total, $C_{TT}$	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,261.0		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0080
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
Servicios.			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,246.0		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0027
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.6		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	80.6		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.6		0.0005
Mantenimiento.			
Accesorios de operación.	18.0		0.0032
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0012
Patentes y regalías.	150.6		0.0269
Total de directos, $A_{DT}$	3,951.5	3,951.5	0.7056
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0121
Impuestos locales.	30.2		0.0054
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, $A_{DI}$	98.4	98.4	0.0176
<b>Total de gastos de manufactura, <math>A_{MT}</math></b>			
Depreciación, $A_{DD}$		4,049.9	0.7232
		201.5	0.0360
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0030
Costos de distribución y venta.	502.2		0.0897
Investigación y desarrollo.	251.1		0.0448
Total de generales, $A_{GT}$	770.2	770.2	0.1375
Total de gastos, $A_{GT}$		5,021.6	0.8967
<b>Ingresos por ventas (<math>5.6 \times 10^6</math> kg/año @ 1.008 \$/kg), <math>A_{IV}</math></b>			
Utilidad neta anual, $A_{UN}$		5,644.8	1.0080
Impuestos por ingresos, $A_{IM}$		623.2	0.1113
Utilidad neta anual después de impuestos, $A_{UN}$		(311.6)	(0.0556)
Tasa de retorno después de impuestos, $i$		311.6	0.0556
$i = 23.14 \%$			

## HOJA DE BALANCE DE 1993.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FF}$	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, $C_{WC}$	202.0 k\$		
Capital total, $C_{TC}$	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,341.8		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0077
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
<b>Servicios.</b>			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,290.5		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0026
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.6		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	83.5		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.7		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0207
Accesorios de operación.	18.0		0.0031
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0012
Patentes y regalías.	155.3		0.0268
Total de directos, $A_{DTC}$	4,084.5	4,084.5	0.7042
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0117
Impuestos locales.	30.2		0.0052
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, $A_{ITC}$	98.4	98.4	0.0170
Total de gastos de manufactura, $A_{MTC}$		4,182.9	0.7212
Depreciación, $A_{DP}$		201.5	0.0347
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0029
Costos de distribución y venta.	517.9		0.0893
Investigación y desarrollo.	258.9		0.0446
Total de generales, $A_{GC}$	793.7	793.7	0.1368
Total de gastos, $A_{TC}$		5,178.1	0.8927
Ingresos por ventas ( $5.8 \times 10^6$ kg/año @ 1.008 \$/kg), $A_{IV}$		5,846.4	1.0080
Utilidad neta anual, $A_{UNA}$		668.3	0.1152
Impuestos por ingresos, $A_{II}$		(334.2)	(0.0576)
Utilidad neta anual después de impuestos, $A_{UNAI}$		334.1	0.0576
Tasa de retorno después de impuestos, $i$			
$i = 24.16 \%$			

## HOJA DE BALANCE DE 1994

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>	Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FC}$	2,015.0 k\$	
Capital de trabajo, $C_{WC}$	202.0 k\$	
Capital total, $C_{TC}$	2,217.0 k\$	
Costo	k\$/año	\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>		
Materias primas.	2,382.2	0.4038
Personal de operación.	44.6	0.0076
Personal de supervisión y oficinas.	4.5	0.0008
Servicios.		
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,312.8	0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3	0.0026
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.7	0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	85.0	0.0144
Tratamiento de afluentes @ 0.1155 \$/kg	2.8	0.0005
Mantenimiento.	120.0	0.0203
Accesorios de operación.	18.0	0.0031
Gastos de laboratorio.	6.7	0.0011
Patentes y regalías.	157.6	0.0267
Total de directos, $A_{DE}$	4,151.2	4,151.2 0.7036
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>		
Gastos diversos del personal.	67.6	0.0115
Impuestos locales.	30.2	0.0051
Seguros.	0.6	0.0001
Total de indirectos, $A_{IME}$	98.4	98.4 0.0167
Total de gastos de manufactura, $A_{FE}$		4,249.6 0.7203
Depreciación, $A_{D}$		201.5 0.0342
<b>Gastos generales.</b>		
Gastos administrativos.	16.9	0.0029
Costos de distribución y venta.	525.5	0.0891
Investigación y desarrollo.	262.8	0.0445
Total de generales, $A_{GE}$	805.2	805.2 0.1365
Total de gastos, $A_{TG}$		5,256.3 0.8924
Ingresos por ventas ( $5.9 \times 10^4$ kg/año @ 1.008 \$/kg), $A_{I}$	5,947.2	1.0080
Utilidad neta anual, $A_{UN}$	690.9	0.1171
Impuestos por ingresos, $A_{II}$	(345.5)	(0.0586)
Utilidad neta anual después de impuestos, $A_{IUE}$	345.4	0.0585
Tasa de retorno después de impuestos, $i$		
$i = 24.67\%$		

## HOJA DE BALANCE DE 1995.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, $C_{FC}$	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, $C_{WC}$	202.0 k\$		
Capital total, $C_{TC}$	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,422.5		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0074
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
Servicios.			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,335.0		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0026
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.7		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	86.4		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.8		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0200
Accesorios de operación.	18.0		0.0030
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0011
Patentes y regalías.	160.0		0.0267
Total de directos, $A_{DTC}$	4,217.5	4,217.5	0.7029
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0113
Impuestos locales.	30.2		0.0050
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, $A_{ITC}$	98.4	98.4	0.0164
Total de gastos de manufactura, $A_{MTC}$		4,315.9	0.7193
Depreciación, $A_{DP}$		201.5	0.0336
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0028
Costos de distribución y venta.	533.5		0.0889
Investigación y desarrollo.	266.7		0.0445
Total de generales, $A_{GTC}$	817.1	817.1	0.1362
Total de gastos, $A_{TGC}$		5,334.5	0.8891
Ingresos por ventas (6.0 X 10 <sup>6</sup> kg/año @ 1.002 \$/kg), $A_{IV}$		6,048.0	1.0080
Utilidad neta anual, $A_{UNA}$		713.5	0.1189
Impuestos por ingresos, $A_{II}$		(356.8)	(0.0595)
Utilidad neta anual después de ingresos, $A_{UNAI}$		356.7	0.0595
Tasa de retorno después de impuestos, $i$			
1 = 25.18 %			

## HOJA DE BALANCE DE 1996.

Capacidad <u>6,000 ton/año</u>		Valor del Índice CE <u>385</u>	
Capital fijo, C <sub>FF</sub>	2,015.0 k\$		
Capital de trabajo, C <sub>WT</sub>	202.0 k\$		
Capital total, C <sub>TT</sub>	2,217.0 k\$		
Costo	k\$/año		\$/kg
<b>Gastos directos de manufactura.</b>			
Materias primas.	2,422.5		0.4038
Personal de operación.	44.6		0.0074
Personal de supervisión y oficinas.	4.5		0.0008
<b>Servicios.</b>			
Vapor a 6.8 atm. @ 0.0124 \$/kg	1,335.0		0.2225
Electricidad @ 0.022 \$/kw-h	15.3		0.0026
Agua desmineralizada @ 0.3394 \$/m <sup>3</sup>	1.7		0.0003
Agua de enfriamiento @ 1.00 \$/m <sup>3</sup>	86.4		0.0144
Tratamiento de efluentes @ 0.1155 \$/kg	2.8		0.0005
Mantenimiento.	120.0		0.0200
Accesorios de operación.	18.0		0.0030
Gastos de laboratorio.	6.7		0.0011
Patentes y regalías.	160.0		0.0267
Total de directos, A <sub>DT</sub>	4,217.5	4,217.5	0.7029
<b>Gastos indirectos de manufactura.</b>			
Gastos diversos del personal.	67.6		0.0113
Impuestos locales.	30.2		0.0050
Seguros.	0.6		0.0001
Total de indirectos, A <sub>IT</sub>	98.4	98.4	0.0164
Total de gastos de manufactura, A <sub>MT</sub>		4,315.9	0.7193
Depreciación, A <sub>DP</sub>		201.5	0.0336
<b>Gastos generales.</b>			
Gastos administrativos.	16.9		0.0028
Costos de distribución y venta.	533.5		0.0889
Investigación y desarrollo.	266.7		0.0445
Total de generales, A <sub>GP</sub>	817.1	817.1	0.1362
Total de gastos, A <sub>GT</sub>		5,334.5	0.8891
Ingresos por ventas (6.0 X 10 <sup>6</sup> kg/año @ 1.008 \$/kg), A <sub>I</sub>		6,048.0	1.0080
Utilidad neta anual, A <sub>U</sub>		713.5	0.1189
Impuestos por ingresos, A <sub>I</sub>		(356.8)	(0.0595)
Utilidad neta anual después de impuestos, A <sub>UI</sub>		356.7	0.0595
Tasa de retorno después de impuestos, i			
i = 25.18 %			

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Secretaría de Programación y Presupuesto. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1981. México. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Noviembre de 1982.
- 2 Nacional Financiera. La Economía Mexicana en Cifras. México. 1981.
- 3 División de Estudios de Posgrado, Facultad de Química. Las Industrias de Procesos Químicos. México. Departamento de apoyo a programas tecnológicos. 1984. Cuaderno de Posgrado No. 13.
- 4 Secretaría de Programación y Presupuesto. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. México. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. 1979.
- 5 Secretaría de Programación y Presupuesto. Folios de las importaciones nacionales, por fracción arancelaria de producto, y por país de origen. México. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. Folios de los años de 1980, 1981, 1982 y 1983.
- 6 Kirk - Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology. 3<sup>a</sup> ed. USA. Editorial Board, John and Sons, Inc. 1979.
- 7 Consejo de Recursos Minerales. Anuario Estadístico de la Minería Mexicana, 1981. México. Gerencia de Estudios Económicos. Departamento de Estadísticas Mineras. 1983.

- 8 Instituto Mexicano del Petróleo. Desarrollo y Perspectivas de la Industria Petroquímica Mexicana. México. Subdirección de Estudios Económicos y Planeación Industrial. 1977.
- 9 Asociación Nacional de la Industria Química. Anuario de la Industria Química Mexicana en 1984. México. ANIQ. 1985.
- 10 Asociación Nacional de la Industria Química. Directorio de Empresas, Productos, Servicios y Distribuidores de la Industria Química Mexicana, 1983 - 1984. 9ª edición. México. ANIQ. 1985.
- 11 Petróleos Mexicanos. Productos Elaborados por Petróleos Mexicanos, Manual de Propiedades. México. PEMEX.
- 12 Perry, Robert and C. Chilton. Chemical Engineer's Handbook. 5ª edición. Japan. Mc Graw Hill. 1973.
- 13 Ulrich, Gael D. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. USA. Ed. John Wiley and Sons, Inc. 1984.
- 14 Peters, M.S. and K.D. Timmerhaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. 3ª edición. USA. Mc Graw Hill. 1980.
- 15 McCabe, Warren and J.C. Smith. Unit Operations of Chemical Engineering. 3ª edición. Japan. Mc Graw Hill. 1976.
- 16 Dean, John. Lange's Handbook of Chemistry. 30ª edición. USA. Mc Graw Hill. 1985.
- 17 Vilbrand and Deyden. Chemical Engineering Plant Design. 4ª edición. Japan. Mc Graw Hill. 1959.

- 18 Ludwig, Ernest E. Applied Process Design for Chemical and Petro--  
chemical Plants. USA. Ed. Gulf Publishing Company. 1965. 2 vols.
- 19 Hall, R.S., J. Matley and K.J Mc Naughton. Current Cost of Process  
Equipment. Chem. Eng. pag. 80 - 116. (April 5, 1982).
- 20 Pikalik, A. and H.E. Diaz. Cost Estimation for Major Process Equip  
ment. Chem. Eng. pag. 107 -122. (Oct. 10, 1977).
- 21 Guthrie, K.M.. Data and Techniques for Preliminary Capital Cost -  
Estimation. Chem. Eng. pag. 114 -142. (March 24, 1969).
- 22 Holland, F.A., F.A. Watson and J.K. Wilkinson. Capital Cost and -  
Depreciation. Chem. Eng. pag. 118 - 121. (July 23, 1973).
- 23 Holland, F.A., F.A. Watson and J.K. Wilkinson. Engineering Econo-  
mics for Chemical Engineers. Chemical Engineering Reprint No. 215,  
(1975).