

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA DE PETRÓLEO Y PETROQUÍMICA



"Proceso Suhio para Producción de Acrilonitrilo"

T E S I S

**Para optar el Grado de Bachiller en Ciencias
con mención en INGENIERIA PETROQUÍMICA**

LUIS DANCUART KOHLER

PROMOCION 1974 - 2

LIMA - PERU

1975

A MIS PADRES

Y HERMANOS

A MIS TIOS
AUGUSTO Y ELENA

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto presentar el estudio técnico-económico para la instalación de una planta de acrilonitrilo en el Perú que utilice el proceso SOHIO . El estudio consta de cuatro partes.

En la primera se trata de la descripción de las propiedades físicas y las reacciones químicas en las que participa el acrilonitrilo .

El estudio de mercado se presenta en la segunda parte ,y en él se analizan los antecedentes y las estimaciones de la demanda con el objeto de poder determinar el tamaño de planta adecuado ; posteriormente se hace el estudio de localización de planta ,y una síntesis de los productos competitivos del acrilonitrilo y sus derivados .

En la tercera parte se trata del estudio técnico del proceso SOHIO, incluyendo las características termodinámicas de las reacciones ,las variables de operación en el reactor ,los balances de materia y los requerimientos de energía y servicios de la planta .

La rentabilidad del proyecto es evaluada en la cuarta parte luego de proceder a un estudio económico que comprende los costos de producción ,valores de venta ,capital de trabajo y la inversión total . La rentabilidad es analizada por medio de los métodos del plazo de recuperación y del inversionista (método de la tasa de flujo neto de fondos descontada : DCF) .

CONCLUSIONES

- I. El proceso SOHIO es el más adecuado para la producción de acrilonitrilo . Debido a que fue el primero en aplicar la técnica de amoxidación ,es el que ha sido desarrollado más extensivamente desde su introducción ,desplazando otros métodos por factores de orden técnico y económico .
- II. De acuerdo al estudio de mercado se justifica la pronta instalación de una planta de acrilonitrilo en el Perú ,considerando la posibilidad de poder incursionar con éxito en el mercado del Grupo Andino por medio de las fibras acrílicas luego de abastecer el mercado nacional .
- III. La rentabilidad del proyecto es buena . Aplicando el método del flujo neto de caja descontado (DCF ó del inversionista) se encontró que el retorno de la inversión del proyecto financiado con recursos propios da un valor de 12.9 % . La experiencia indica que si el proyecto fuese financiado por medio de créditos ,la rentabilidad aumentaría ya que el valor DCF descontado a valor presente aumentaría al pagarse la planta en un período más largo de tiempo ,lográndose una mejor utilización del dinero invertido .
- IV. El proyecto de construcción de la refinería de Bayóvar y el Complejo Petroquímico adyacente permitirían que se cuente con la materia prima necesaria sin tener que recurrir a su importación .
- V. Finalmente se concluye que la construcción de una planta de acrilonitrilo es económicamente atractiva y técnicamente posible .

INTRODUCCION

El presente trabajo : **Proceso SOHIO para producción de Acrilonitrilo** ,ha sido realizado con el objeto de evaluar la posibilidad de instalación de una planta de esta naturaleza en el Perú ,con miras al mercado nacional y al mercado del Grupo Andino.

La llegada a la costa ,en 1977 ,del petróleo de la selva por medio del colosal **Oleoducto Norperuano** ; la construcción con este motivo de una gran refinería en Bayóvar para procesar este crudo ; y el creciente desarrollo industrial del país , hacen pensar que el deseo de contar con un Complejo Petroquímico que nos libere de las importaciones actuales será pronto una realidad .

Una de las plantas que deberán ser construídas en este Complejo será la de **acrilonitrilo** ,ya que el **acrilonitrilo** es un producto petroquímico bastante importante ,cuyas mayores aplicaciones están actualmente en el campo de las fibras poliacrílicas y en el de sus copolímeros con butadieno y estireno (resinas **ABS** y **SAN**) .

La razón de la instalación en el Perú de una planta de esta naturaleza está en que actualmente ningún país de la subregión tiene proyectos similares ,y a que en el Perú se encuentra instalada actualmente una planta con capacidad de producción de 18,000 TM/A de fibras acrílicas cuyos propietarios ,**Bayer Industrial** ,planean cubrir la demanda del Grupo Andino en este producto .

Además considerando el desarrollo integral de la industria petroquímica en la subregión ,al Perú se le ha asignado en la propuesta 44 de la Junta del Acuerdo de Cartagena (Grupo Andino) la producción de acrilonitrilo ,y aunque este programa no ha sido todavía aprobado ,la realidad en el caso del acrilonitrilo no diferirá de lo propuesto debido a que ya se cuenta en el Perú con una planta que utilizará lo que se produzca . Sin embargo el hecho de no tener la propuesta aprobada es un factor de riesgo considerable ,por lo que la capacidad de la planta ha sido considerada inferior a la que sería necesaria en caso de tenerse la seguridad de ser el único productor en la subregión . Una planta de mayor tamaño tendría la ventaja de lograr un producto de menor costo ,teniendo una inversión por tonelada de acrilonitrilo también menor .

Siendo el capital necesario bastante considerable ,la construcción de esta planta recaerá indudablemente en el campo de las industrias del sector público ,más aún si se considera que toda la industria petroquímica básica ha sido reservada para el estado .

Todo lo anterior justifica la necesidad de un estudio de este tipo ,para reevaluar la posibilidad de implantación de esta planta luego de la crisis económica y energética ,consecuencia de la revaluación del precio del petróleo por los países de la OPEC .

Sumario

Página

---- Capítulo 1 : el producto

1.1. Acrilonitrilo y Nitrilos	1-1
1.2. Propiedades Físicas del Acrilonitrilo	1-3
1.3. Métodos de Obtención	1-6
1.4. Propiedades y Reacciones Químicas	1-11
1.5. Aplicaciones del Acrilonitrilo	1-17

---- Capítulo 2 : estudio de mercado

2.1. Antecedentes	2-1
2.2. Proyecciones de la demanda	2-3
2.3. Tamaño de planta	2-6
2.4. Productos competitivos	2-12
2.5. Localización de planta	2-17

---- Capítulo 3 : el proceso

3.1. Historia del proceso de amonitrilo	3-1
3.2. Distintos métodos de procesamiento	3-6
3.3. Reacciones químicas	3-10
3.4. Descripción del proceso ABE	3-14
3.5. Balance de materia	3-18

3.6. Balances de energía	3-21
3.7. Requerimientos de mano de obra directa	3-1
3.8. Vida útil de las instalaciones	3-2
3.9. Disposición preliminar de planta	3-22

Capítulo 4 : Estudio Económico

4.1. Estimación de la inversión	4-1
4.2. Costos de producción	4-1
4.3. Valor de ventas	4-10
4.4. Utilidades e Impuestos	4-15
4.5. Capital de trabajo	4-10
4.6. Inversión total	4-10
4.7. Flujo neto de fondos	4-15
4.8. Evaluación de la rentabilidad del proyecto	4-1

---- Bibliografía

Notas aclaratorias.

- Abreviaturas . e han en el texto de la tesis .
Se aclaran sin embargo en los cuadros de las tablas .
que significan miles y millones respectivamente .
- Las referencias bibliográficas se dan en el texto y
en algunos cuadros de la tesis .
- Las cantidades de activos se dan en millones de pesos ,
entre paréntesis .

CAPITULO 1

EL PROGRAMA

1. El Producto

1.1. Acilonitrilo y Nitrilos

Los nitrilos son compuestos orgánicos que contienen un nitrógeno unido a un carbono mediante un triple enlace. Este grupo, o sea el carbono y el nitrógeno unidos por el triple enlace se conoce como grupo funcional nitrilo ó también como grupo ciano.

En general podemos representar a los nitrilos con la fórmula:



, en la que R es un radical orgánico saturado, no saturado ó aromático.

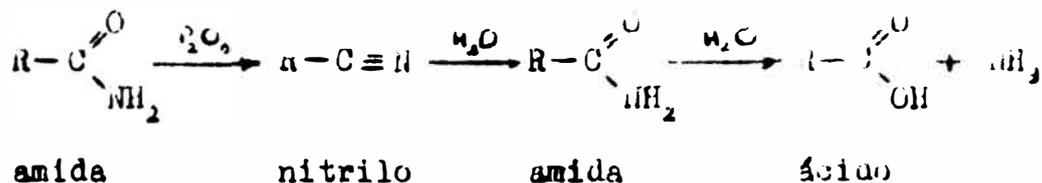
De acuerdo a la nomenclatura oficial de la IUPAC (International Union of pure and applied Chemistry) establecida en Ginebra, los nitrilos se nombran ~~añadiendo~~ la terminación nitrilo al nombre del hidrocarburo correspondiente, el átomo de nitrógeno unido al carbono no se cuenta como parte de la cadena.

Otra nomenclatura considera al grupo ciano (-CN) como un sustituyente, y en esta forma se indica el nombre del hidrocarburo con el prefijo ciano, señalando la posición en la que se encuentra este sustituyente.

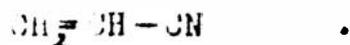
ejemplos :	nombre IUPAC	nombre con prefijo
CH_3-CN	etanonitrilo	cianometano
$NC-CH_2-CH_2-CN$	butanodinitrilo	1,4-dianacetano
	benzonitrilo	cianobenceno.

Ya que los nitrilos se obtienen por reacción directa de las amidas, pueden considerarse como derivados de ácidos carboxílicos, pues

por hidrólisis pueden transformarse en amidas y eventualmente en ácidos (1).



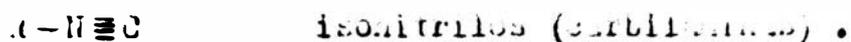
Entre los nitrilos no saturados, el más importante es el acrilonitrilo que es también el primer miembro de la serie. Su fórmula es



El acrilonitrilo es también conocido como vinilo cianuro, aunque este nombre se usa en muy pequeña escala en la actualidad.

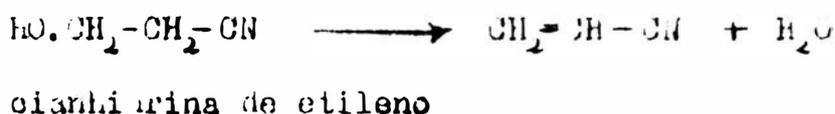
En general los nitrilos de cadena corta son líquidos, de una densidad inferior a la del agua y poseen olor característico; en tanto los nitrilos más pesados son sólidos e inodoros.

Existen además un grupo de compuestos orgánicos conocidos como isonitrilos, en los que el nitrógeno actúa con cinco valencias en vez de tres, y además se coloca anteponiéndose al carbono terminal al que se liga mediante cuatro enlaces. A los isonitrilos se les conoce también como carbilaminas (2).



1.2. Propiedades Físicas del Acrilonitrilo

El acrilonitrilo es un líquido incoloro de olor leve, un tanto parecido al del fósforo ó al de la piridina en solución diluida. Fue descubierto en 1893 por Moureu quien lo preparó por deshidratación tanto de la acrilamida, como de la cianhidrina de etileno con pentóxido de fósforo como agente de deshidratación.



El acrilonitrilo fue solo una curiosidad de laboratorio durante un buen tiempo, hasta que entre 1927 y 1940 los alemanes empezaron a utilizar sus copolímeros con butadieno para la fabricación del caucho sintético conocido como Buna-N. En los Estados Unidos se comenzó a fabricar en 1940 y su importancia creció rápidamente con motivo de la segunda guerra mundial (5).

Como los nitrilos por hidrólisis dan ácidos carboxílicos, cabe notar que sus puntos de ebullición son menores que los de los ácidos correspondientes. En el caso del acrilonitrilo (P.M. 53.5), el punto de ebullición del ácido acrílico (obtenido por hidrólisis del primero) es 141°C, casi 64°C mayor que el del acrilonitrilo. Las principales propiedades físicas del acrilonitrilo se encuentran en la tabla 1-1 (3).

Tabla 1-1 .Propiedades Físicas del Acrilonitrilo

Apariencia	líquido incoloro
Peso molecular	53.06
Punto de ebullición	77.3°C
Punto de congelación	-63°C
Presión crítica	34.9 atm
Temperatura crítica	246°C
Densidad - a 20°C	0.8060 g/ml
- a 25°C	0.8004 g/ml
Punto flash (copa abierta)	0°C
Temperatura de ignición	461°C
Índice de refracción n_D^{25}	1.3608
Tensión superficial a 24°C	27.3 din/cm
Densidad del vapor (teórica)	1.03 (aire : 1.00)
Límite de explosividad (3 vol.en aire)	3.05 a 17.0 % ± 0.5 %

Presión de vapor

mm Hg	T °C
50	8.7
100	23.6
250	45.5
500	61.7
760	77.3

<u>Solubilidades</u>	% en solución		
	T °C	acrilonitrilo en H ₂ O	H ₂ O en acrilonitrilo
	0	2.1	7.2
	20	3.1	7.35
	40	4.8	7.9
	60	7.6	9.1

<u>Azeótropos</u>	Punto de ebullición (°C)	% peso de acrilonitrilo
Benceno	73.3	47
CCl ₄	66.2	21
metanol	61.4	39
isopropanol	71.7	56
agua	71	88

Datos Termodinámicos

Entropía (vapor a 25°C , 1 atm)	65.47 cal/°C-mol
Energía libre de formación (vapor a 25°C)	45.37 kcal/mol
Calor de combustión (líquido a 25°C)	-420.6 kcal/mol
Calor de formación (líquido a 25°C)	36.20 ± 0.13 kcal/mol
Calor de vaporización (0-77°C)	7.6 kcal/mol
Capacidad calorífica molar (líquido)	16.5 ± 1.0 cal/°C-mol
Capacidad calorífica molar (vapor , 77-1000°C , 1 atm)	6.75 ± 33.27 10 ⁻⁴ T + 13.91 10 ⁻⁶ T ² cal/°C-mol

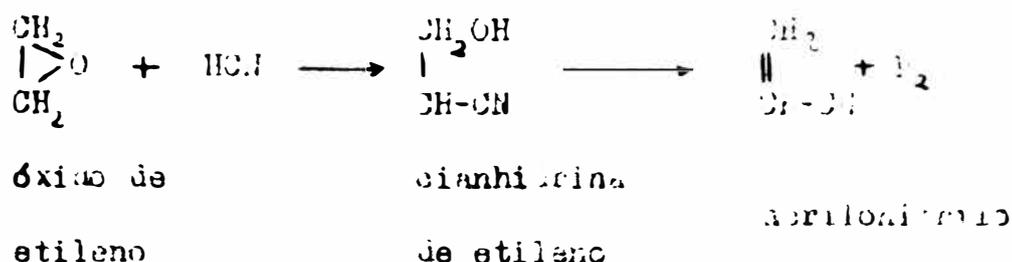
1.3. Métodos de Obtención

Existen tres métodos importantes para la producción de acrilonitrilo ; la deshidratación de la cianhidrina de etileno (obtenida del óxido de etileno y HCN ; la reacción entre acetileno y HCN ; y el proceso de amoxidación del propileno , (4).

Entre estos tres métodos , la amoxidación del propileno es el más importante desde el punto de vista industrial ya que conduce a la producción de acrilonitrilo más económica . Por esta razón es que todas las plantas construídas para la producción de acrilonitrilo después de 1960-1962 utilizan el proceso de amoxidación .

1.3.1. Deshidratación de la cianhidrina de etileno.

Este era el método usado por la Union Carbide , debido de lado por inconvenientes económicos . La cianhidrina de etileno es deshidratada moderadamente y con alto rendimiento tanto en fase vapor como en fase líquida , utilizando los catalizadores usuales de deshidratación ; en fase vapor alúmina activada a 300°C , y en fase líquida formato sódico , óxido de calcio ó hidróxido de sodio en la presencia de cloruro de sodio a 200°C . El rendimiento era del 95 % . La reacción que ocurre es :



1.3.2. Adición de ácido cianhídrico al acetileno .

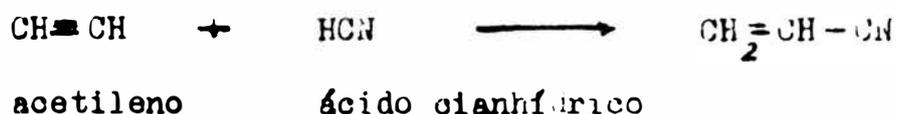
Para la adición del ácido cianhídrico (HCN ,cianuro de hidrógeno) al acetileno ($CH \equiv CH$,etino) existen dos formas de proceder.

- 1.3.2.a. La reacción ocurre en fase gaseosa a $400-500^{\circ}C$ sobre un cianuro metálico que actua como catalizador . Este proceso no se emplea en la actualidad debido a que tanto los rendimientos como las conversiones son bajos ,y a que pueden presentarse problemas en la separación del acrilonitrilo de los gases calientes .
- 1.3.2.b. Un proceso en el que la reacción ocurre en fase líquida a presión atmosférica y baja temperatura con catalizadores similares a los desarrollados para la dimerización de acetileno a monovinilacetileno ,y que consisten en una solución de ácido clorhídrico con cloruro cuproso que se mantiene a un $pH = 1.0$ mediante la adición de más ácido ; en vez de cloruro cuproso pueden tambien emplearse cloruros de sodio ,potasio y amonio ,individualmente ó en mezclas .

El proceso se lleva a cabo con circulación de un gran exceso de acetileno (6 mol de acetileno/mol de HCN) , a $87-90^{\circ}C$ y algo por encima de la presión atmosférica . El catalizador es líquido y la mezcla reaccionante pasa a través de la solución en forma . El efluente del reactor es enfriado y pasado por un absorbedor donde el acrilonitrilo es recuperado como una solución al 3 % en agua .

Los productos de tope del absorbador incluyen acetileno , inertes y alquinos más pesados ; estos últimos son removidos por lavados con solventes antes de que el acetileno sea reciclado . La solución de acrilonitrilo es desorbida con vapor , y los topos del desorbador condensan en dos capas : la capa acuosa que contiene algo de acrilonitrilo es reciclada al desorbador , y la otra capa que contiene acrilonitrilo con una pureza de 75 % es bombeada a tres columnas de purificación , operando las dos últimas columnas a presión reducida . El rendimiento de acrilonitrilo es de 75-80 % respecto del acetileno y 85-90 % respecto del HCN .

Para las dos formas , la reacción que conduce al producto acrilonitrilo es la misma :



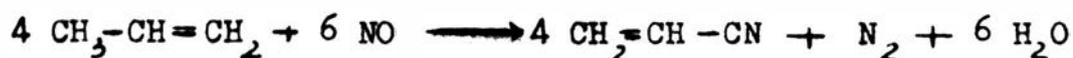
1.3.3. Procesos de amoxidación .

El proceso escogido para este trabajo es el proceso OHIO que emplea esta técnica de amoxidación , por lo que no se explicará aquí , sino en el capítulo 3 .

Sin embargo el proceso OHIO no es el único que emplea la técnica de amoxidación , existen los procesos Distillers, OHMT, Du Pont , Montecatini-Gilson y el OHV . Las diferencias entre ellos no son muy grandes ya que emplean la misma reacción como base de la producción .

- 1.3.3.a. El proceso Distillers fue desarrollado por British Petroleum (BP) y Uguine . Se emplea en Inglaterra y Francia . Para la reacción se prefieren temperaturas entre 350-500°C , con catalizadores de molibdeno (varios molibdatos metálicos han sido empleados) .
- En este proceso es importante que se tenga como producto intermedio un aldehído no saturado , que en el caso del acrilonitrilo es la acroleína . En cuanto a la producción del coproducto acetonitrilo , parece ser algo menor que en el proceso SOHIO .
- 1.3.3.b. En el proceso SNAM , la amoxidación se lleva a cabo a una temperatura en el reactor de 520°C , con una carga compuesta de propileno 3.3 % , amoníaco 3.7 % , aire (fuente de oxígeno) 26.6 % y vapor de agua 66.4 % (porcentajes volumétricos) . El catalizador contiene 1.1 % de vanadio . Se emplea destilación extractiva (solventes agua y acetofenona) para la separación del acetonitrilo y el acrilonitrilo .
- 1.3.3.c. Una variante dentro de la técnica de amoxidación la da el proceso Du Pont , el único que no emplea la reacción general de propileno con amoníaco . Se hace reaccionar propileno con óxido nítrico , obtenido por oxidación del amoníaco con aire . El proceso se lleva a cabo a aproximadamente 700°C con un catalizador de plata soportado . La reacción global equivale a un proceso de amoxidación en dos etapas .

Y la reacción para este proceso Du Pont es :



La reacción general en los procesos de amoxidación es la siguiente :

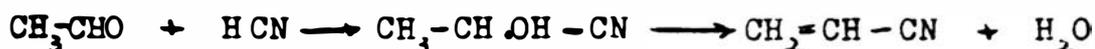


1.3.4. Otras rutas posibles para la obtención de acrilonitrilo .

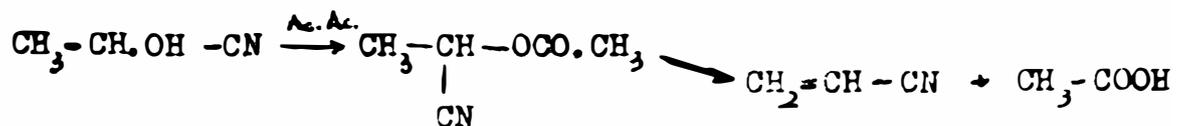
1.3.4.a. Deshidrogenación del propionitrilo ,obtenido del ácido propiónico y amoniaco .



1.3.4.b. Proceso Knapsack-Griesheim . Es la pirólisis de la cianhidrina de acetaldehído ,cuya producción se lleva a cabo actualmente a escala comercial (la de la cianhidrina) . La cianhidrina se deshidrata a 700°C en presencia de ácido fosfórico, H_3PO_4 .



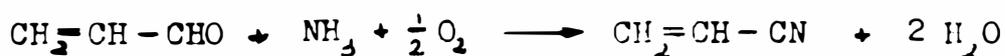
Una variante es pirolizar la cianhidrina del acetato :



Este proceso que podría ser práctico , no se emplea debido a que no presenta las ventajas económicas del proceso de amoxidación .

La reacción es seguida por un apagado (quench) inmediato con ácido fosfórico al 30 % .

1.3.4.c. Reacción de acroleína con amoníaco . Se dispone actualmente de volúmenes comerciales de acroleína en el proceso de oxidación catalítica en fase vapor del propileno ,y uno de los usos potenciales que se le considera es la producción de acrilonitrilo mediante la reacción con amoníaco y aire :



acroleína

En los procesos de amoxidación ,la acroleína es considerada como un estado intermedio en las reacciones de producción del acrilonitrilo .

La reacción se lleva a cabo en fase vapor entre 250-500°C a presión atmosférica ,sobre catalizadores de oxidación como los molibdatos y los fosfomolibdatos . La mezcla reaccionante contiene algo de exceso de aire y de amoníaco ,y puede estar diluída en vapor de agua . Las conversiones son altas y el rendimiento respecto de la acroleína convertida fue cerca del 80 % .

1.4. Propiedades y Reacciones químicas

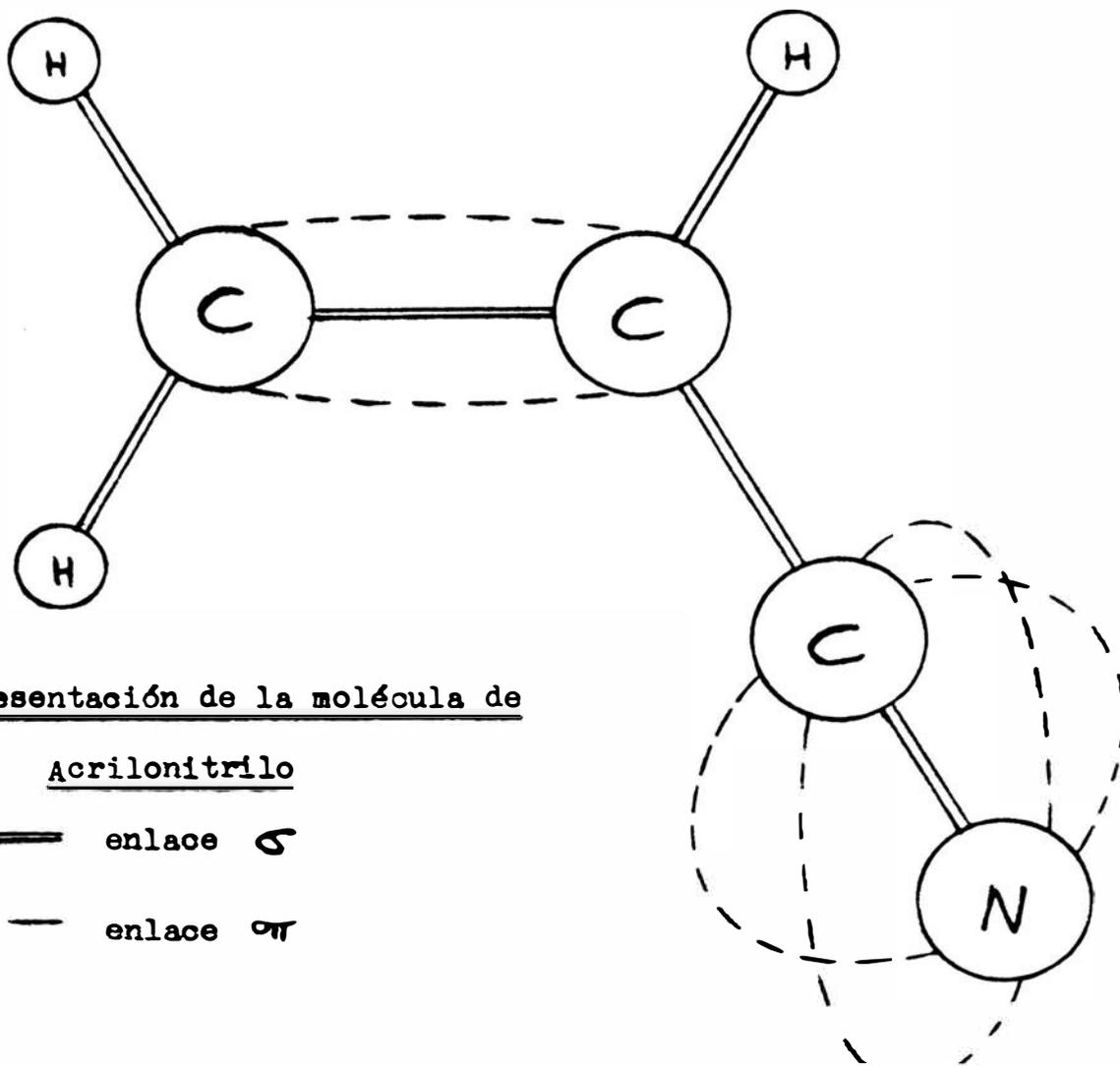
El acrilonitrilo es una sustancia que posee en su molécula dos centros reactivos diferentes , uno debido al doble enlace $\text{C}=\text{C}$,y otro debido al triple enlace $\text{C}\equiv\text{N}$.

Estos enlaces no saturados son del tipo π ,por lo que existe una nube electrónica sobre ellos . Se debe notar también ,que el átomo de nitrógeno posee un par de electrones sin compartir .

Las longitudes aproximadas para los distintos enlaces en la molécula de acrilonitrilo son las siguientes : (5).

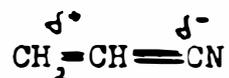
Enlace	Longitud (en angstroms)
C-H	1.09
C=C	1.33
C-C	1.49
C≡N	1.15

Con los datos anteriores podemos hacer el esquema molecular del acrilonitrilo ,en el que se muestran los centros más reactivos de la molécula (en los lugares de la nube electrónica π , en el enlace C=C ,y en el C≡N).



En vista de lo anterior ,en las reacciones químicas se tratará de disminuir la densidad electrónica en los enlaces no saturados de la molécula . El enlace más activo para cumplir con esta disminución es el enlace $C=C$,ya que siendo el nitrógeno un átomo más electronegativo que el carbono (3.1 contra 2.5 ,respectivamente) ,el primero atraerá hacia sí los electrones del doble enlace $C=C$ aumentando la densidad electrónica en la vecindad del enlace $C\equiv N$,de por sí alta por el triple enlace y por el par de electrones sin compartir del átomo de nitrógeno .

Esto lleva a la conclusión de que el acrilonitrilo es una molécula polar , con la carga negativa concentrada en el sector del átomo de nitrógeno .

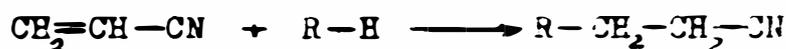


Existirán por lo tanto ciertas reacciones en la que el grupo $C\equiv N$ no intervenga , y otras en las que el grupo $C=C$ no lo haga .

1.4.1. Reacciones del doble enlace $C=C$

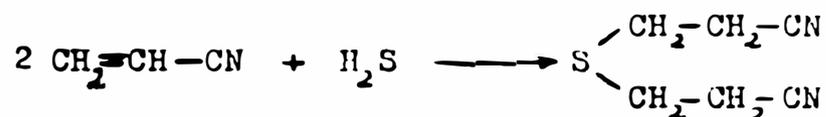
1.4.1.a. Adición a compuestos tipo $R-H$,con hidrógenos reactivos .

El acrilonitrilo se adiciona fácilmente a compuestos de este tipo , abriendo posibilidades de producción de los derivados 2-cianoetílicos . Un descubrimiento relacionado con esto es el algodón ciano etilado . La reacción tipo es :



1.4.1.b. Adición con ácido sulfídrico . El acrilonitrilo reacciona formando el tiodipropionitrilo , que se emplea como plastificante .

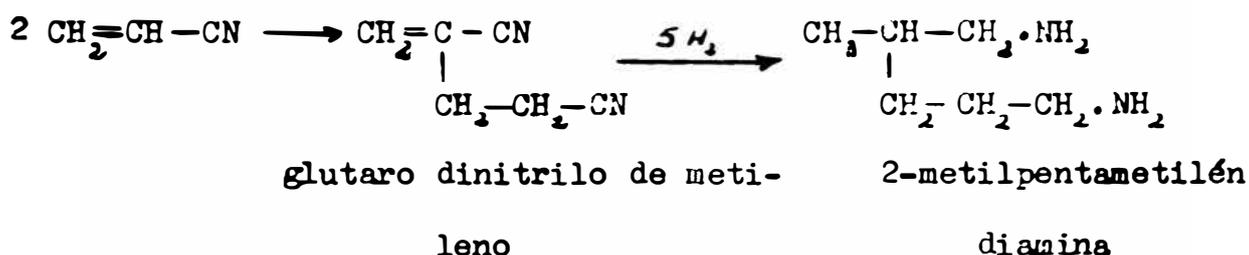
La reacción es ; (6)



1.4.1.c. Dimerización . El acrilonitrilo puede sufrir dos tipos de reacciones de dimerización , una en la que pierde un doble enlace y otra en la que pierde los dos .

Cuando se rompe solo un doble enlace , el dímero es el glutarodinitrilo de metileno (2,4-dicianobuteno-1) . Este dímero es de interés como modificador de fibras , en téropolímeros con butadieno y estireno , y también en cauchos nitrílicos modificados . Si el producto está completamente hidrogenado se tiene entonces la 2-metilpentametilén diamina que puede ser empleada en fibras poliamídicas.

La reacción de dimerización es ; (6)

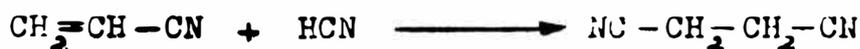


En cambio si se rompen los dos dobles enlaces , por calentamiento bajo presión a 190-200°C se obtiene el 1,2-dicianociclobutano .

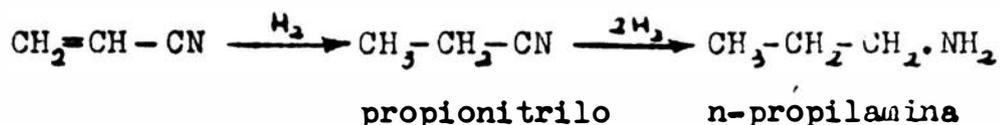
La reacción es ; (7)



1.4.1.d Condensación con ácido cianhídrico . En la presencia de un catalizador alcalino se obtiene el succidinitrilo ,que también se puede obtener desde dicloruro de etileno y cianuro de sodio . La reacción es ; (6)

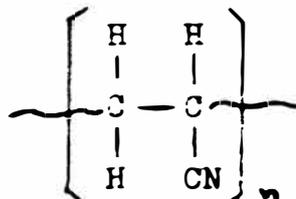


1.4.1.e. La hidrogenación en condiciones moderadas del acrilonitrilo da como producto el propionitrilo . Si se continua el proceso ,se satura el triple enlace $\text{C}\equiv\text{N}$ y se obtiene la n-propilamina . Las reacciones que ocurren son ; (7)



1.4.1.f .Polimerización . El acrilonitrilo es susceptible se polimerizarse de manera algo similar a la polimerización del etileno . El mecanismo preferido es por cadena de radicales libres ,y los iniciadores preferidos son del tipo aniónico ,ya que actúan disminuyendo la densidad electrónica en la vecindad del doble enlace .

La forma de la unidad repitente (y por lo tanto del polímero de estructura lineal) es :

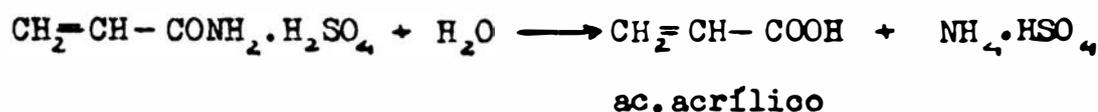
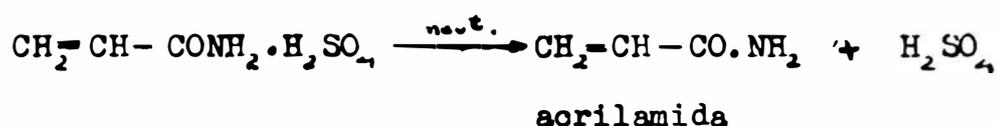
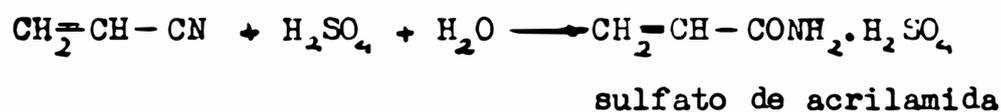


También pueden obtenerse cópolímeros con acrilonitrilo, butadieno y estireno (resinas ABS), con estireno y acrilonitrilo (resinas SAN) y otros tipos de combinaciones semejantes .

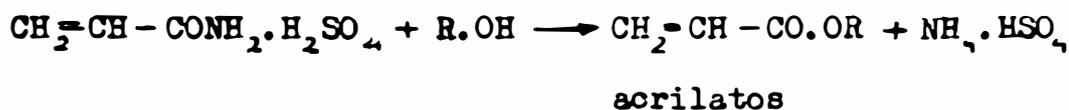
1.4.2. Reacciones en el grupo C≡N

El grupo C≡N es bastante menos reactivo que el grupo C=C, por lo que la principal reacción que ocurre es la de hidrólisis y esta es también prácticamente la única de interés.

1.4.2.a. Hidrólisis con H₂SO₄. Esta reacción da como producto el sulfato de acrilamida, el que neutralizado da acrilamida. La continuación de la hidrólisis da como resultado el ácido acrílico (6,7).



Si el sulfato de acrilamida se trata con alcoholes, se obtienen los ésteres del ácido acrílico (acrilatos). Se emplea hidroquinona como inhibidor de polimerización.



1.5. Aplicaciones del acrilonitrilo

El acrilonitrilo tal como se produce no tiene aplicaciones directas, es necesario llevar a cabo procesos que permitan obtener sus derivados los que si son bastante importantes. Por lo tanto, la aplicación del acrilonitrilo es la de insumo industrial.

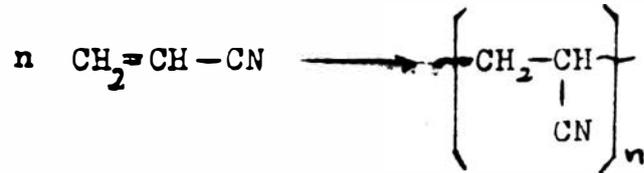
Las principales aplicaciones del acrilonitrilo son las fibras sintéticas de poliacrilonitrilo, las resinas ABS/SAN, los cauchos nitrílicos, la acrilamida y el glutamato monosódico.

1.5.1. Fibras Acrílicas

El acrilonitrilo puede ser polimerizado ó copolimerizado con el objeto de producir fibras sintéticas que compiten principalmente con la seda, con la lana, y en menor escala con las fibras de poliésteres y las de nylon texturizado. Su principal característica es su resistencia al uso, y también pueden hacerse tejidos inarrugables con relativa facilidad. Se conocen dos tipos de fibras: las acrílicas que contienen más de 85 % en peso de acrilonitrilo y las modacrílicas que contienen menos de 85 %, (8). En general las fibras acrílicas son siempre copolímeros de acrilonitrilo (con cloruro de vinilo, ó con acrilato de metilo). Las más corrientes son los copolímeros con menos de 5 % de acrilato de metilo ó de vinilpiridina-2 (9).

Las fibras acrílicas son comercializadas bajo distintas marcas de fábrica. Entre las más conocidas están el Acrilán, Orión, Dynel, Creslán, Verel, y Zefrán. La de mayor producción en los Estados Unidos en 1970 fue el Orilón fabricado por la Du Pont (10).

La reacción de polimerización para el acrilonitrilo es la siguiente :



1.5.2. Resinas ABS/SAN

Uno de los plásticos de crecimiento más explosivo en los últimos años son las resinas ABS/SAN . En realidad son dos tipos diferentes de resinas en cuanto a su constitución ya que las primeras son copolímeros de acrilonitrilo ,butadieno y estireno (de ahí el nombre ,o sea las iniciales de los monómeros en inglés) ,en tanto las segundas no incluyen butadieno pero sí estireno y acrilonitrilo (el nombre también es obtenido de las iniciales . En algunas partes son conocidas también como AS ó también SA) .

En la constitución de estas resinas ,el acrilonitrilo forma un porcentaje variable entre el 25-30 % de acuerdo al tipo de resina producida . El estireno es el componente principal de las resinas ABS y SAN .

La reacción ocurre en los dobles enlaces del acrilonitrilo , del estireno y del butadieno ,aunque este compuesto puede formar dos tipos de estructuras ya que posee dos dobles enlaces ; en una de ellas pierde un doble enlace y en la otra los dos . En realidad no se puede hablar de unidad repitente ya que las cantidades en que ingresa cada monómero son muy variables .

Las principales aplicaciones de las resinas ABS/SAN se encuentran en la industria automotriz ,en la industria de artefactos eléctricos ,en la de tuberías ,en la de revestimientos ,equipos de transporte ,envases y productos de construcción .

1.5.3. Cauchos nitrílicos

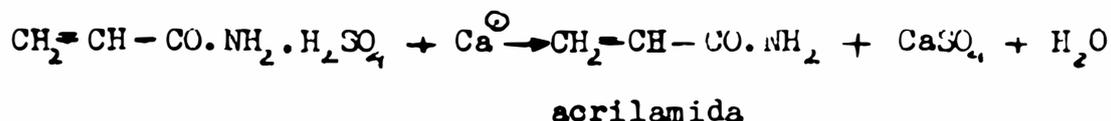
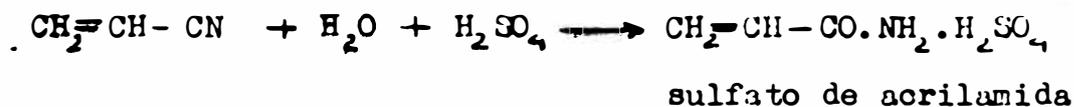
Aunque actualmente presentan un uso algo limitado ,sus aplicaciones más importantes son en las que se requiere de buenas cualidades de resistencia al petróleo y derivados . Su crecimiento anual es bastante menor que el de las resinas ABS/SAN . Se emplea en latexs y como elementos sellantes ,(11) .

Sin embargo hace unos cuantos años ,los copolímeros de acrilonitrilo (alrededor del 30 %) con butadieno se empleaban bastante y se conocían comercialmente como buna N y como hule de nitrilo ,(12). La aparición de nuevos materiales sintéticos de mejores características ha logrado que poco a poco sean reemplazados por productos de mayor resistencia y mejor calidad .

1.5.4. Acrilamida

La producción de acrilamida se logra por una hidratación del acrilonitrilo con ácido sulfúrico monohidratado ($H_2SO_4 \cdot H_2O$,en concentración al 85 %) y la posterior neutralización del sulfato de acrilamida mediante compuestos de ,por ejemplo , calcio .

Las reacciones que ocurren son :



Entre las principales aplicaciones de la acrilamida se encuentran sus usos como adelgazante de pinturas ; como monómero para la producción de poliacrilamida (que se emplea como floculante de sólidos finos suspendidos en agua) ; y como agente de retención de pigmentos en la manufactura de papel (7).

1.5.5. Glutamato monosódico

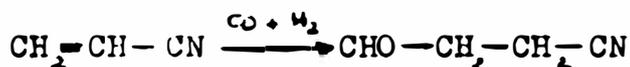
El proceso usual de obtención del glutamato monosódico involucra una fermentación de una materia orgánica natural ; en el Perú se obtiene por fermentación de la melaza de la caña de azúcar (producido por Ajinomoto del Perú) .

Sin embargo , en el Japón la compañía Ajinomoto ha desarrollado un proceso para la producción del glutamato monosódico (MSG) a partir de acrilonitrilo en plantas de 4500 TM/año . La ruta es una aplicación modificada del proceso Oxo que se usa normalmente para la producción de aldehídos .

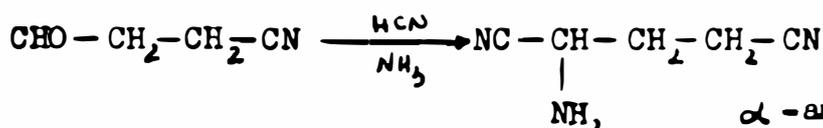
El acrilonitrilo sufre una reacción Oxo para dar β -cianopropionaldehído , el que reacciona con cianuro de amonio para dar a su vez α -aminoglutardinitrilo . Este es hidrolizado con soda cáustica para dar una solución de los isómeros d y l de MSG, y amoníaco .

El isómero l es separado por recristalización ,mientras que el isómero d es racemizado y reciclado (6).

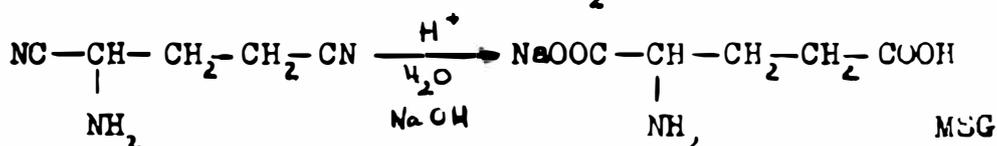
Las reacciones que ocurren son las siguientes : (13)



β -cianopropionaldehído



α -aminoglutarodinitrilo



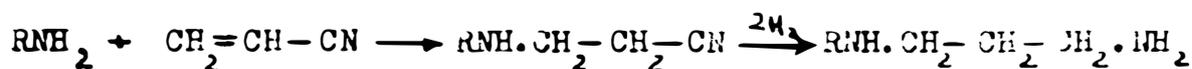
MSG

El principal empleo del MSG es como saborizante de alimentos a nivel de producción alimenticia industrial ó a nivel del mismo consumidor .

1.5.6. Aditivos de asfaltos

El acrilonitrilo se emplea para la producción de aminas de ácidos grasos ,las que entran en el campo de los agentes de superficies activas y se emplean como aditivos de asfaltos principalmente (13).

La reacción que ocurre es del tipo :



CAPITULO 2

ESTUDIO DE MERCADO

2. Estudio de Mercado

2.1. Antecedentes

Teniendo en cuenta lo dicho en el capítulo anterior respecto de los usos del acrilonitrilo, se deduce que es un producto intermedio para una serie de productos finales bastante importantes como son las fibras acrílicas y las resinas ABS/SAN.

En el Perú en la actualidad el consumo es relativamente bajo si es que se excluye el volumen que podría emplear la compañía Bayer Industrial en su planta de poliacrilonitrilo.

Esta compañía realizó el año pasado una ampliación de su capacidad de producción desde 6,000 hasta 18,000 TM/A de fibras acrílicas del tipo Dralón. Esta planta no polimeriza el acrilonitrilo directamente sino que parte de un producto prepolimerizado para completar el proceso hacia las fibras. Actualmente emplea una cantidad muy reducida de acrilonitrilo puro si se compara con el volumen total de producción. La causa de esto está tal vez en que resulta más económico iniciar el proceso con el producto prepolimerizado si no se dispone de la materia prima en el mercado nacional. En el momento en que se pueda producir acrilonitrilo en el Perú la planta deberá ser capaz de producir el poliacrilonitrilo desde la materia prima nacional.

En la tabla 2-1 se muestran las importaciones de acrilonitrilo, to-

masas de la partida de importación 29.27.00.01 ,la que según la norma Nabandina identifica al acrilonitrilo en el área del GRAN. Aunque el volumen de importación es pequeño , vemos que es creciente ; el aparente descenso de la demanda en 1974 se debe a la paralización de actividades de Bayer Industrial con motivo de llevar a cabo su ampliación .

Tabla 2-1

Importaciones de Acrilonitrilo en el Perú 1965-1974 . (14)

Año	Volumen (KB)
1965	30
1966	494
1967	1833
1968	5407
1969	5069
1970	2765
1971	25214
1972	30085
1974	9111 (hasta setiembre)

2.2. Proyecciones de la demanda

En esta parte del estudio es necesario referirse a las proyecciones de la demanda considerando el programa de la Junta del Acuerdo de Cartagena (GRAN) sobre el Programa Sectorial de Desarrollo de la Industria Petroquímica .

Este programa data de marzo de 1974 y está expuesto en la propuesta 44 de la Junta del Acuerdo .

Todavía no ha sido aprobado por los países miembros del GRAN ,pero la decisión final sobre la producción de acrilonitrilo es poco probable que difiera respecto de lo indicado en la propuesta 44 debido a que ya se encuentra operando en el Perú una planta de fibras acrílicas (Bayer Industrial S.A. --- capacidad inicial 6 MTMA dralón , ampliada a 18 MTMA de dralón desde abril de este año) capaz de satisfacer la demanda total de la subregión de la fibra acrílica Dralón. La asignación del acrilonitrilo al Perú en la propuesta 44 tiene carácter de exclusividad ,lo que significa que los demás países del GRAN no alentarían la instalación de plantas similares en sus respectivos países hasta 1985 . Esto permitiría una continua expansión de la producción de fibras acrílicas con vistas no solo al mercado GRAN ,sinó también a mercados extra-subregionales (15).

Respecto a otros derivados del acrilonitrilo ,la propuesta 44 asigna al Perú el poliacrilonitrilo ,las fibras acrílicas discontinuas sin cardar

peinar ni preparar de otra forma ; los cables para discontinuos de fibras acrílicas ; y deja sin asignar las fibras acrílicas discontinuas cardadas, peinadas ó preparadas de otras formas . También asigna al Perú la producción de cianuros de sodio, potasio y calcio que son derivados del ácido cianhídrico .

Las plantas de resinas ABS/SAN son asignadas a Ecuador y Colombia , que de esta manera se convertirían en compradores obligados de nuestra producción . Colombia también tiene asignada una planta de poli-acrilonitrilo , que entraría en operación en 1978 causando una disminución en la demanda de acrilonitrilo en el mercado peruano , y que también emplearía acrilonitrilo peruano como materia prima .

Tanto la demanda nacional como la de los países miembros del GRAN muestran en general una tendencia creciente (ver esquema adjunto) en cuanto a los requerimientos de acrilonitrilo en cada mercado . No se incluyen a Bolivia , Chile y Venezuela ya que el estudio del GRAN considera que estos países no tendran demanda directa de acrilonitrilo al no producir ningún derivado directo del mismo .

La tabla 2-2 se indican las demandas esperadas de acrilonitrilo para el Perú , Ecuador y Colombia hasta 1985 . La tabla 2-3 señala la participación de las fibras acrílicas en la demanda total de fibras textiles en cada país del GRAN .

Tabla 2-2

Demandas esperadas de acrilonitrilo en los países del C.A.M.

Año	Colombia		Ecuador		Perú		TOTAL	
	MTM	%	MTM	%	MTM	%	MTM	%
1975	0.4	3.2	0	0	12.0	96.8	12.4	100.0
1976	0.4	2.2	0	0	18.0	97.8	18.4	100.0
1977	0.4	2.2	0	0	18.0	97.8	18.4	100.0
1978	8.8	35.8	0.5	2.0	15.3	62.2	24.6	100.0
1979	9.5	35.1	0.6	2.2	17.0	62.7	27.1	100.0
1980	13.4	43.8	0.7	2.3	16.5	53.9	30.6	100.0
1981	14.4	43.6	0.8	2.4	17.8	54.0	33.0	100.0
1982	15.5	43.8	0.9	2.5	19.0	53.7	35.4	100.0
1983	16.6	43.6	1.1	2.9	20.4	53.5	38.1	100.0
1984	18.0	43.6	1.3	3.1	22.0	53.3	41.3	100.0
1985	19.2	43.4	1.5	3.4	23.5	53.2	44.2	100.0
TOTAL	116.6	36.0	7.4	2.3	199.5	61.7	323.5	100.0

notas : (1) no se incluyen Bolivia ,Chile y Venezuela ya que ellos no tendrán demanda directa de acrilonitrilo .

(2) se estima que en 1978 deben entrar en operación las plantas de resinas ABS/SAN de Colombia y Ecuador ,así como una planta de poliacrilonitrilo en Colombia .

EVOLUCION ESTIMADA DE LA DEMANDA DE ACBOLONITRULO EN EL GRAN 1975-1985

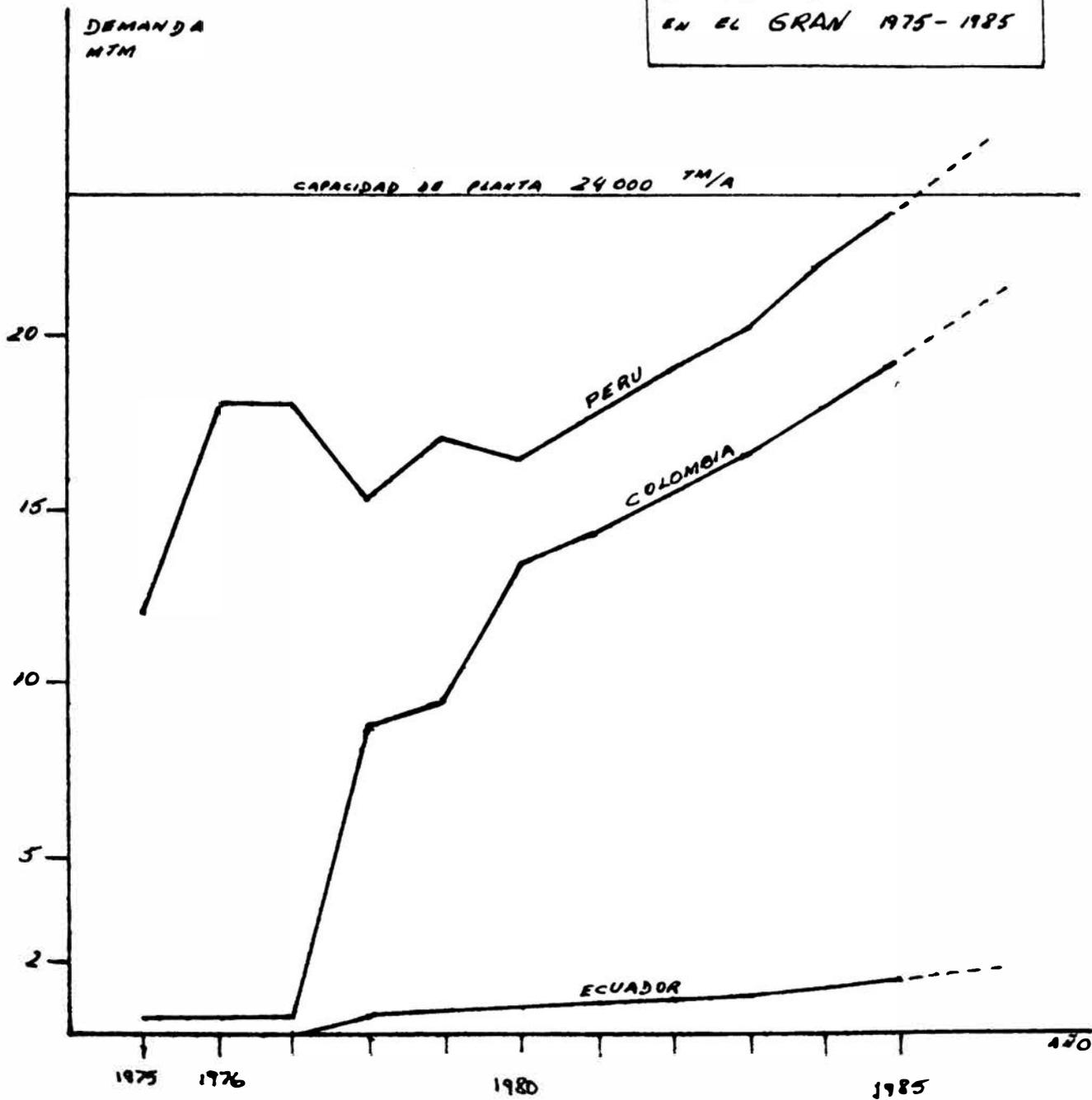


Tabla 2-3

Demanda esperada de fibras acrílicas en los países del GRAN

en miles de toneladas métricas/año

TC : tasa de crecimiento TC-1 : 1970-1980

TC-2 : 1980-1985

	1970	1980	1985	TC-1	TC-2
--- <u>Perú</u>					
fibras textiles	41.3	86.0	113.5	7.6	5.6
fibras acrílicas	3.6	9.5	13.5	10.2	7.4
--- <u>Bolivia</u>					
fibras textiles	10.8	23.0	33.0	7.9	7.5
fibras acrílicas	0.2	1.0	2.0	17.6	15.0
--- <u>Colombia</u>					
fibras textiles	100.0	187.0	239.0	6.5	5.0
fibras acrílicas	2.4	7.5	10.0	12.1	5.9
--- <u>Chile</u>					
fibras textiles	50.2	84.5	107.5	5.4	5.0
fibras acrílicas	1.5	4.0	5.5	10.3	6.6
--- <u>Ecuador</u>					
fibras textiles	15.7	36.5	50.0	8.8	6.5
fibras acrílicas	1.5	4.0	6.0	10.3	8.5

(tabla 2-3 --- continuación)

	1970	1980	1985	TC-1	TC-2
--- <u>Venezuela</u>					
fibras textiles	35.0	79.0	107.0	8.5	6.3
fibras acrílicas	0.8	3.0	4.0	14.1	5.9
--- <u>Total GRAN</u>					
fibras textiles	253.0	496.0	650.0	7.0	5.5
fibras acrílicas	10.0	29.0	41.0	11.3	7.2

nota : en fibras textiles se incluyen algodón , lana , celulósicas y sintéticas (poliamídicas , poliésteres , acrílicas y de otros tipos) . La fibra textil más importante es el algodón para todos los países del GRAN .

2.3. Tamaño de planta

Las plantas para la producción de acrilonitrilo que emplean el proceso SOHIO varían grandemente de tamaño entre sí . Las más pequeñas pueden producir desde 4540 TM/A y las más grandes llegan hasta 158.9 MTM/A (17) .

La tabla 2-4 contiene las plantas actualmente en construcción en el mundo ,indicando además la patente que emplean (18).

Tabla 2-4

Plantas de acrilonitrilo en construcción en el mundo .

Compañía	País	Capacidad	Licencia	Inversión
Indian Petrochemie	India	110.0	IIP/IIP	40.0
Showa Denko KK	Japón	80.0	-----	----
ANIC	Italia	80.0	SOHIO	----
Rumianoa SpA	Italia	a 78.0	SOHIO	----
Montedison SpA	Italia	a 75.0	Montedison	----
Ugilor	Francia	a 70.0	-----	----
China Petrochemical	Taiwan	66.0	SOHIO	29.0
Paular SA	España	a 60.0	Montedison	----
Fisiba Petroquímica	Brasil	24.0	SOHIO	24.0
Romchim	Rumanía	40.0	SOHIO	----
Korea Ind. Equip.	Corea del Norte	10.0	Ugine	----

Capacidad : miles de toneladas métricas/año

Inversión : millones de dólares (USA).

el tamaño de planta es determinado por el tamaño del mercado y por el tamaño de plantas similares en construcción en el mundo.

2.3.1. Tamaño del mercado

El mercado del Grupo Andino es un mercado bastante interesante, más aún si la planta de acrilonitrilo se construyera en el Perú sería la única en toda la subregión. Sin embargo, el programa de desarrollo integral que intenta promover la Junta de Cartagena mediante la propuesta 44 no ha sido aún aprobado, por lo que al menos en una primera instancia no tenemos asegurado el mercado de la subregión.

Por lo tanto, creo que debemos fijar el tamaño de planta más en relación con el tamaño de nuestro mercado y teniendo en mente la posibilidad de futuras expansiones de la capacidad.

Esto además involucra una menor inversión inicial, ya que se trata de una planta de menor capacidad que la que se requeriría si la propuesta 44 estuviera en vigor.

Analizando el desarrollo de la demanda nacional, en la tabla 2-2 y el gráfico de evolución estimada, se nota que hacia 1985 la demanda nacional de acrilonitrilo llegaría a las 23500 TM, por lo que si la planta se pone en marcha hacia 1978, en 7 años el mercado nacional cubriría su capacidad. Además el remanente en esos 7 primeros años sería una cantidad relativamente pequeña que sería fácil de vender o de dejar de producir sin mayores problemas.

Teniendo en cuenta todo lo dicho ,un tamaño de planta de 24,000 TM/A parece ser el más correcto para nuestro país . Es necesario indicar que si las necesidades del mercado GRAN lo requiere se requeriría de considerar la ampliación de la planta hacia el año 1980 . En caso de solo considerar el mercado nacional ,la ampliación de la planta se consideraría hacia 1983 .

Las necesidades del mercado y la aprobación del programa integral de desarrollo petroquímico en el GRAN serán las que decidan si la ampliación de capacidad será en la misma planta ó mediante la construcción de una planta nueva .

2.3.2. Tamaño de plantas de acrilonitrilo en el mundo

Los datos de la tabla 2-4 muestran lo variable que actualmente es el tamaño de planta de acrilonitrilo . Esto se debe a la gran flexibilidad que presenta el proceso de amoxidación (SOHIO, Montedison, Ugine, etc.) en cuanto al tamaño de las instalaciones . La misma compañía que realiza los trabajos de diseño e ingeniería para el proceso SOHIO ,The Badger Company Inc., considera que capacidades en el rango de 10 a 350 millones de libras por año (4.5 a 158.9 MTM/A) son factibles de realizar .

Por todo lo anterior ,hablar de 24 MTM/A para la planta de acrilonitrilo en el Perú parece lógico y correcto .

Teniendo en cuenta lo dicho en las dos secciones anteriores ,el tamaño de 24000 TM/A para la planta de acrilonitrilo es el correcto .

2.4. Productos Competitivos

El acrilonitrilo directamente no participa en un mercado competitivo ,ya que es un producto de uso muy particular . Sin embargo existen productos competitivos en relación con sus derivados .

2.4.1. Fibras acrílicas

Estas fibras compiten con fibras sintéticas de otros tipos como los poliésteres y las poliamídicas (nylons) . Esta no es una competencia muy fuerte ya que cada tipo de fibra sintética tiene aplicaciones particulares ,y sólo en ciertos tipos de confecciones pueden ser sustituidas por otras .

2.4.2. Resinas ABS/SAN

El acrilonitrilo conforma entre un 20 a 25 % de estas resinas que entran en competencia directa con los plásticos de los tipos PVC y poliestireno . En esta competencia ,las superiores cualidades de las resinas ABS/SAN hacen que la preferencia se decida en este sentido ,aún cuando estas sean algo más caras .

Todo esto hace que la producción de acrilonitrilo sea bastante atractiva ,ya que encontraría ya que encontraría un mercado que tome la producción sin mayores problemas .

2.5. Localización de planta

La ubicación más indicada para una planta petroquímica es dentro de un complejo petroquímico ,ó al menos cerca de una refinería que pueda proporcionarle la materia prima necesaria .

Dado que en el Perú no existe actualmente un complejo petroquímico no es posible establecer una localización adecuada de modo directo; sin embargo , los estudios indican que la ubicación más probable del complejo sería en Bayóvar en el departamento de Piura .

Bayóvar presenta varias ventajas sobre otras localidades , que la convierten en candidata segura para esta decisión . En primer lugar sería el punto final del Oleoducto Nor-perúano que , traerá el crudo desde los campos de la selva norte hacia la costa . Luego , allí será construída una gran refinería de por lo menos 150 MBDO , lo que aseguraría la materia prima , ya que esta refinería sería una refinería compleja . El deseo del Gobierno de lograr que Bayóvar sea un polo de desarrollo industrial , permitirá que la zona cuente con la infraestructura necesaria en cuanto a vías de comunicación y la ciudad misma .

La demanda de acrilonitrilo no influye en gran medida sobre la localización de la planta ya que como es un insumo industrial , se vende en volúmenes grandes fácilmente transportables en buques tanque ó en deck-tanks hacia las plantas que lo utilicen .

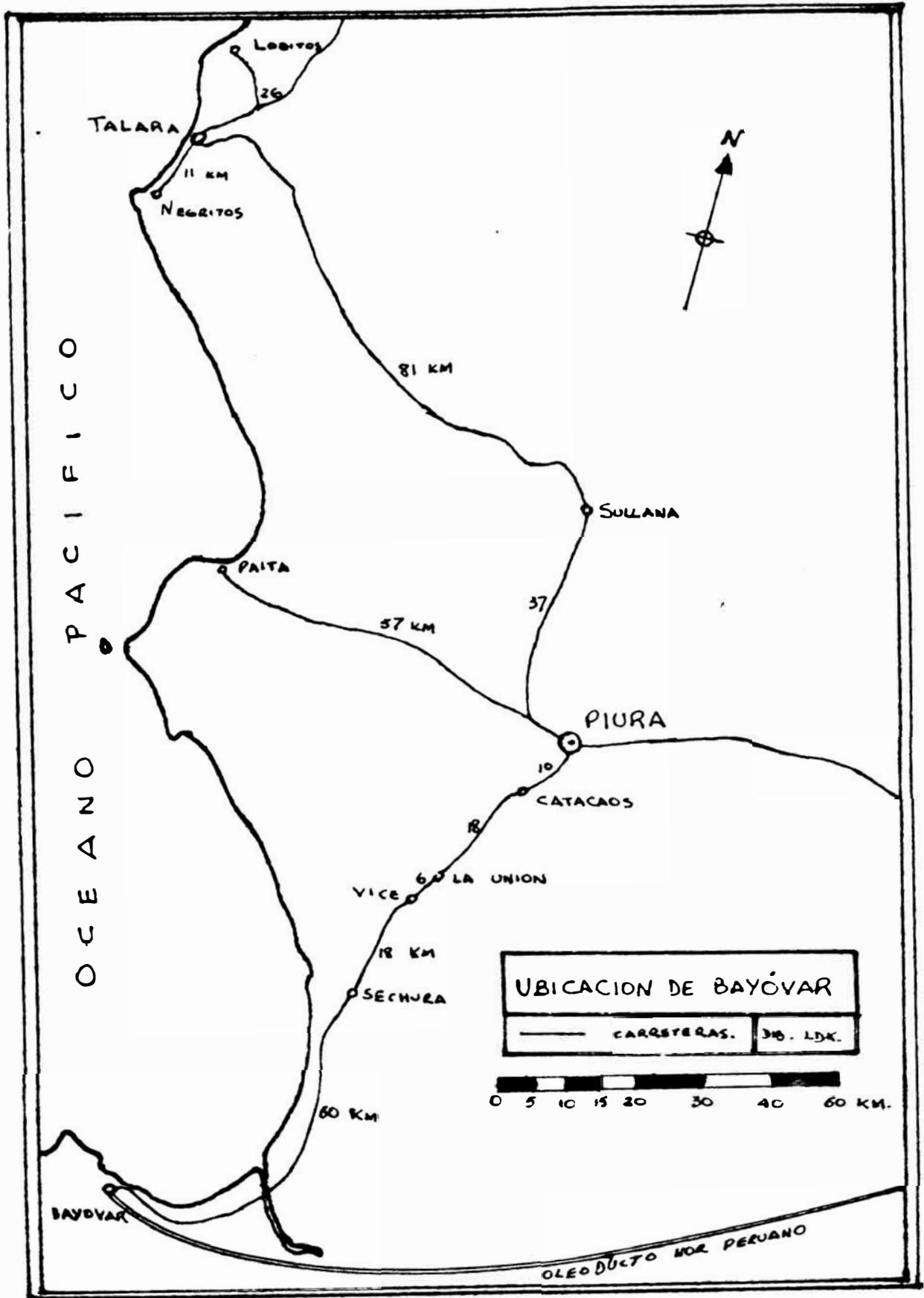
Respecto del costo del transporte ,este en realidad es un costo balanceado ,ya que si se construye la planta en el área industrial lejos de la fuente de materia prima y cerca de los centros de consumo ,es necesario transportar esta última ; si se construye de manera inversa es necesario llevar el producto hacia el mercado y de todas maneras se encuentra que el transporte influye sobre el costo del producto . En el caso particular de la planta de acrilonitrilo es preferible estar cerca de la refinería fuente de materia prima ,ya que es más fácil y menos costoso transportar líquidos que gases licuados .

En cuanto a otras localizaciones ,las únicas aparentes serían La Pampilla y Talara . La primera queda descartada por el poco volumen de producción de propileno (esto en las condiciones actuales y hasta que no se construya una nueva unidad capaz de mejorar la producción). Y la segunda ,Talara ,producirá el corte C_3 (propano/propileno) para la nueva planta de solventes isopropanol-acetona ,y tiene por lo tanto poca disponibilidad de materia prima para la demanda de la planta de acrilonitrilo .

Además ,en el caso de La Pampilla ,la localización queda descartada por el deseo de lograr la descentralización industrial del Perú .

Todo lo anterior conduce a que Bayóvar sea la localidad más aparente para ubicar la planta .

El mapa que se adjunta muestra la ubicación de Bayóvar .



CAPITULO 3

EL PROCESO SOHIO

3. El Proceso SOHIO

3.1. Historia del Proceso de Amoxidación

Uno de los objetivos de la ingeniería es producir más y a menor costo ,y basándose en esto es que se investiga en todos los campos de la ingeniería para volcar en el área industrial los resultados que posibiliten el cumplimiento de este objetivo .

El proceso de amoxidación para la producción de acrilonitrilo parecería ser un ejemplo de como se trabaja para cumplir con estos objetivos . El primer método de producción industrial se basó en la síntesis original de Moureu realizada en 1893 a partir de la cianhidrina de etileno ,este método mantuvo su vigencia hasta mediados de la década 1960-1970 .

La reacción entre acetileno y ácido cianhídrico a temperaturas elevadas fue descubierta hacia 1930 ,y se comenzó a utilizar industrialmente con el catalizador como soluciones acuosas . La dificultad de este proceso era la relativa poca disponibilidad de volúmenes grandes de acetileno ; por esta razón se trató de dirigir la reacción industrial a otros hidrocarburos no saturados ,de mayor disponibilidad como el etileno y el propileno, con ácido cianhídrico . Debido a las dificultades de manipuleo de este último es que se propuso que la fuente de nitrógeno reactivo fuese amoniaco ,lo que implicaba que el hidrocarburo debería ser propileno por tener tres átomos de carbono y ser no saturado (19).

El desarrollo de esta técnica involucró a varias compañías con distintas suertes .

La Sinclair Refining Company llevó a cabo un trabajo sobre las reacciones de las olefinas y amoniaco luego de la segunda guerra mundial . Ellos intentaron las reacciones a 350° C y alta presión , con catalizadores de hidrogenación que contenían cobalto . Trabajando con etileno , propileno y n-butileno obtuvieron como productos principales aminas de cadena lineal y nitrilos . Desde el propileno obtuvieron acrilonitrilo , pero con bajo rendimiento , de acuerdo con la reacción ;

(20)



Socony Vacuum Oil Company (ahora Mobil Oil Company) también investigó utilizando altas temperaturas y catalizadores de hidrogenación menos activos . Para la mayoría de olefinas el producto principal fue el acetonitrilo ; esto alentó el interés de buscar la forma de obtener el acrilonitrilo y también un coproducto valioso como el acetonitrilo ,(20).

Y por fin se llegó al éxito . La Standard Oil Company de Ohio , conocida también como SOHIO desarrolló el proceso que lleva su nombre en su centro de investigación en Cleveland (Ohio-E.E.UU.). Esta compañía anunció en 1959 que construya una planta de 50 millones de libras/año de acrilonitrilo empleando su nuevo proceso . La planta está localizada en Lima (Ohio-E.E.UU.) y entró en operación en 1960 . La recuperación de acetonitrilo como coproducto se inició un año más

tarde ; y en 1962 al encontrarse compradores para el HCN líquido se inició su recuperación comercial . La segunda planta en emplear este proceso fue la de Asahi Chemical Company localizada en Kawasaki (Japón) en julio de 1962 , (21).

Este proceso revolucionó en gran manera los conceptos que se tenían sobre el acrilonitrilo y sobre algunos de sus derivados que hasta ese entonces no se producían debido al costo relativamente elevado de la materia prima acrilonitrilo . El nuevo proceso se podía comparar con ventaja frente a las rutas tradicionales en cuanto a la inversión , materias primas , costos de operación y calidad de productos , (19).

En 1959 se decía que este nuevo proceso sería un factor importante en la producción mundial de acrilonitrilo en el futuro debido a la abundancia de materia prima adecuada , facilidad de elegir el tamaño de planta y su localización , simplicidad del proceso , eliminación de almacenar y transportar el peligroso ácido cianhídrico , y por último la alta calidad del producto . El tiempo les dió la razón ya que actualmente y desde hace unos ocho años , se han ido eliminando las plantas que no emplean este proceso ; y además todas las nuevas plantas construídas desde 1964 emplean el proceso de amoxidación , (19).

Las actuales investigaciones sobre el proceso de amoxidación se restringen a la búsqueda de nuevos catalizadores que mejoren el rendimiento y las condiciones de operación .

3.2. Distintas Patentes de Procesos de Ammoxidación

Aunque el proceso de ammoxidación fue descubierto por SOHIO, existen patentes de otras compañías que también lo emplean para producir acrilonitrilo .

El más conocido de todos ellos es el SOHIO , debido a que revolucionó las técnicas conocidas hasta ese entonces . Los demás se diferencian de este y entre sí en los tipos de reactores empleados , en los catalizadores desarrollados , y en los procedimientos de separación y de purificación , (22).

Todos utilizan la misma reacción base ;



La siguiente tabla muestra las diferencias entre los procesos de ammoxidación .

Tabla 3-1

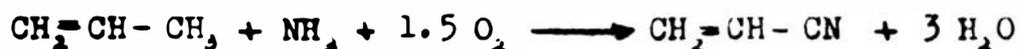
Diferencias entre procesos de ammoxidación

Proceso	Catalizador	Tipo de reactor	Condiciones de Reacción
SOHIO	P-Mo-Bi-O	Lecho fluidizado	3 atm. , 500° C
	U-Sb-O	Lecho fluidizado	1.16 atm. , 300-500° C
OSW	Bi-Mo-Si-O	Lecho fijo	---- 400° C
SNAM	V-Bi-Mo-O	Lecho fijo	1 atm. , 400-500° C
Distillers/ Ugine	Bi-Mo-O	Lecho fijo	---- 370-480° C
Montedison	re-Ce-Mo-O	Lecho fluidizado	1 atm. , 420-460° C

La elección del proceso SOHIO para la producción de acrilonitrilo se debe a que actualmente es el proceso de mayor popularidad debido a que como fue el primero en desarrollarse sobre la base de la reacción de amoxidación, es el que ha logrado mayores mejoras posteriores sobre todo en el campo de los catalizadores.

3.3. Reacciones Químicas

La reacción principal en el proceso SOHIO es la de amoxidación del propileno:



Esta es una de las reacciones químicas más interesantes, tanto desde el punto de vista químico como desde el punto de vista de su aplicación industrial. El medio de reacción es la fase vapor y la reacción se realiza en un reactor de lecho catalítico fluidizado; de aquí se nota lo interesante de la reacción para un químico; es una de las pocas reacciones catalizadas en la que tres reactantes deben coincidir sobre la superficie de un catalizador para dar mediante una reacción que involucra íntimamente a los tres un producto importante mostrando además una alta selectividad. La superficie del catalizador está estrechamente ligada a la reacción química y no es simplemente una superficie de adsorción que permite la unión de los reactantes en juxtaposición activada, (23).

La conversión del amoníaco y el propileno en acrilonitrilo es llevada a cabo por los átomos de oxígeno en el catalizador, por medio de una

secuencia de reacción simple y discreta que no involucra a la acroleína como un producto intermedio (23). La acción de los catalizadores es producir acrilonitrilo desde propileno y amoníaco, pero no conducen a la formación de acroleína si falta este último.

La alta conversión lograda mediante la reacción base es causa de que los reactantes ingresen al reactor en proporciones casi estequiométricas. El oxígeno necesario puede ser proporcionado como aire (lo cual es el procedimiento usual, ya que elimina la necesidad de una planta de oxígeno con las ventajas económicas consiguientes). La tabla 3-2 contiene los resultados de calcular estequiométricamente la reacción base.

Tabla 3-2

Estequiometría de la reacción base de amoxidación.

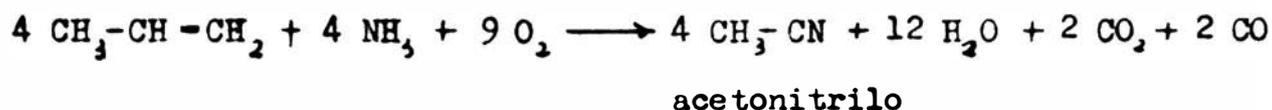
	Peso molecular	N moles ENT.	Peso ENT.	N moles SAL.	Peso SAL.
Propileno	42.081	1.0	42.081	0	0
Amoniaco	17.031	1.0	17.031	0	0
Oxígeno	31.998	1.5	47.997	0	0
Acrilonitrilo	53.064	0	0	1.0	53.064
Agua	18.015	0	0	3.0	54.045
Nitrógeno	28.014	5.67	158.839	5.67	158.839
Total 1	-----	3.5	107.109	4.0	107.109
Total 2	-----	9.17	265.948	9.67	265.948

El total 1 excluye el nitrógeno (que ingresa con el aire), en tanto el total 2 si lo incluye. El contenido de oxígeno en el aire ha sido tomado como 23.20 % en peso y 20.92 % en volumen, y se ha tomado 28.938 como peso molecular del aire.

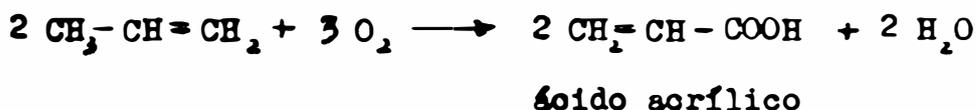
De los datos de la tabla 3-2 se nota que deben introducirse 7.17 moles de aire por mol de acrilonitrilo producido, en tanto que si se empleara oxígeno el requerimiento sería de 1.50 moles/mol de acrilonitrilo. Esta diferencia de volúmenes no es tan crítica como para decidir utilizar oxígeno en lugar de aire, ya que el sobredimensionamiento del reactor no es muy grande y en todo caso es más económico que considerar una planta de oxígeno.

La conversión de propileno hacia acrilonitrilo es bastante elevada, sin embargo se producen volúmenes menores de acetonitrilo y ácido cianhídrico por un ataque oxidativo sobre la molécula de propileno en el doble enlace en vez de el grupo metil (lugar del ataque para producción de acrilonitrilo).

Las reacciones que ocurren en estos casos son : (24)



En menor escala aún ocurre la formación de ácido acrílico :



De las tres reacciones indeseables, la primera es controlada por las cantidades casi estequiométricas que se introducen de los reactivos, en tanto la segunda y la tercera son controladas mediante el catalizador que es bastante selectivo.

La tabla 3-3 contiene las entalpías y las energías libres para la reacción de amoxidación. La tabla 3-4 contiene los mismos valores para las reacciones de producción de acetonitrilo y ácido cianhídrico. En el gráfico adjunto se muestra la variación de estos dos parámetros con la temperatura para las tres reacciones más importantes. No se incluyen los datos para la reacción de formación de ácido acrílico. Los valores de las constantes de equilibrio en función de la presión para las tres primeras reacciones son :

(24)

3.3.1. Reacción de amoxidación :

$$K_p = \frac{144 p x^8}{(2 - 2x)^4 (3 - 3x)^3 (7 - x)}$$

3.3.2. Reacción hacia acetonitrilo :

$$K_p = \frac{9216 x^{12} (17 - x)}{(4 - 4x)^2 (9 - 9x)^3 p}$$

3.3.3. Reacción hacia ácido cianhídrico :

$$K_p = \frac{4090 p x^5}{(7 - x) (2 - 2x) (3 - 3x)^3}$$

K_p constante de equilibrio en función de la presión .

P presión en atmósferas

x cantidad de producto obtenida a partir de un mol de reactante.

Tabla 3-3

Entalpías y Energías Libres en la reacción de amoxidación

T °K	ΔH cal/mol	ΔG cal/mol	K_p
650	- 2.443x10 ⁵	- 2.701x10 ⁵	→ ∞
660	- 2.443x10 ⁵	- 2.705x10 ⁵	→ ∞
670	- 2.443x10 ⁵	- 2.709x10 ⁵	→ ∞
680	- 2.442x10 ⁵	- 2.713x10 ⁵	→ ∞
690	- 2.442x10 ⁵	- 2.717x10 ⁵	→ ∞
700	- 2.442x10 ⁵	- 2.721x10 ⁵	→ ∞
710	- 2.442x10 ⁵	- 2.725x10 ⁵	→ ∞
720	- 2.442x10 ⁵	- 2.729x10 ⁵	→ ∞
730	- 2.442x10 ⁵	- 2.733x10 ⁵	→ ∞
740	- 2.442x10 ⁵	- 2.737x10 ⁵	→ ∞
750	- 2.442x10 ⁵	- 2.771x10 ⁵	→ ∞

$$\Delta H = 2.499x10^5 + 15.571 T - 1.066x10^{-4} T^2$$

$$\Delta G = 2.455x10^5 - 36.806 T - 1.745x10^{-4} T^2$$

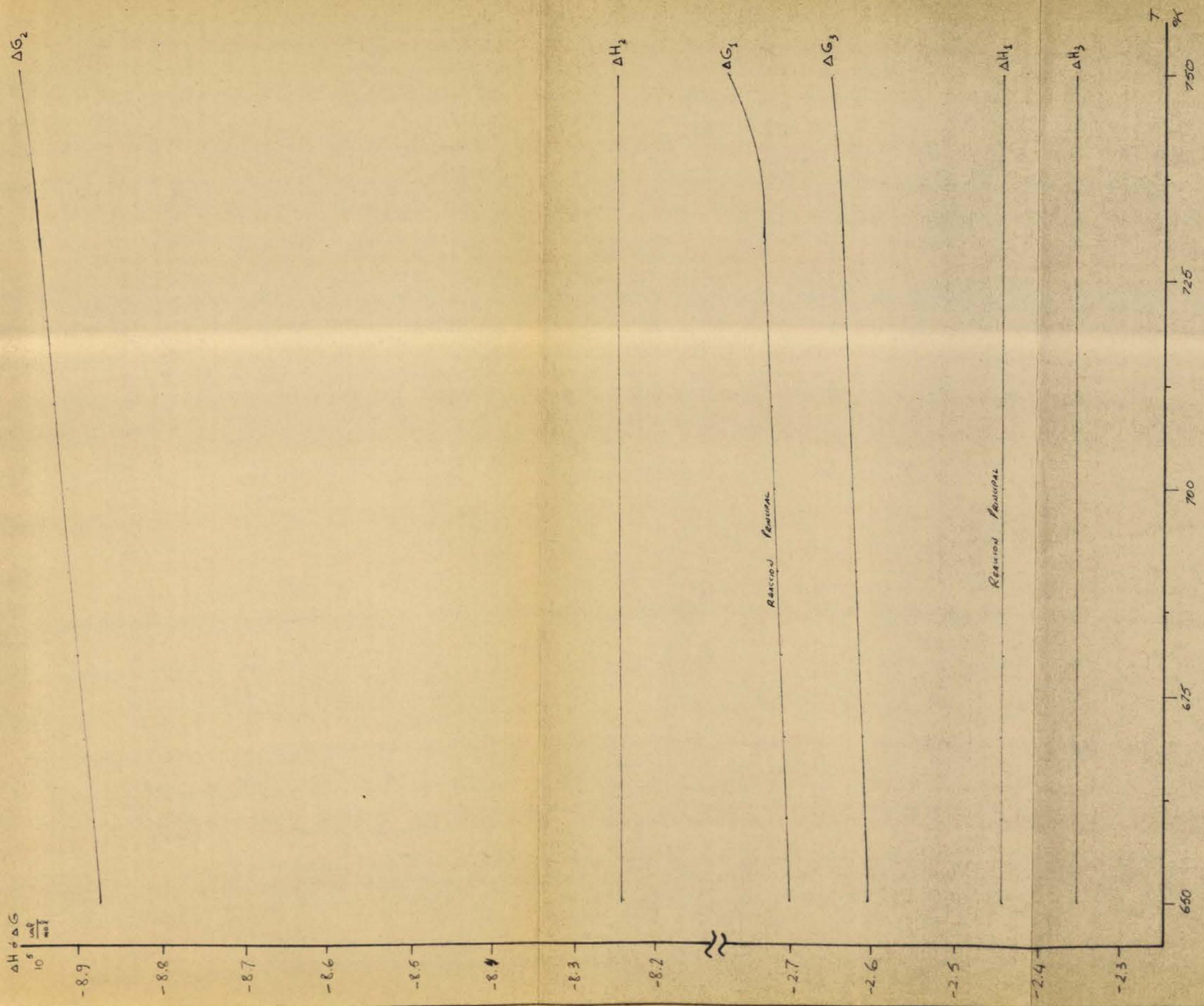
Tabla 3-4

Entalpías y Energías Libres en las reacciones de producción de acetnitrilo y ácido cianhídrico .

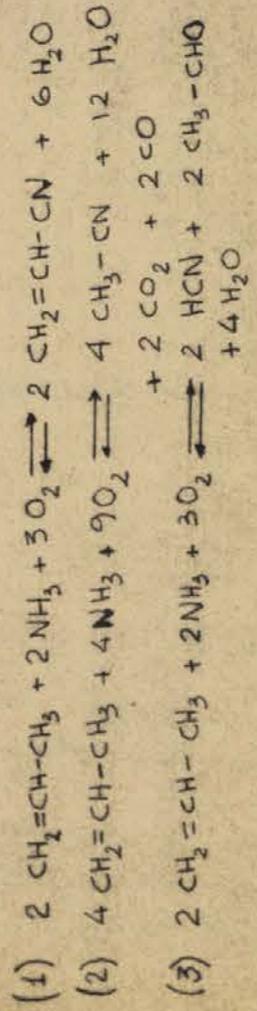
T °K	ΔH_1 cal/mol	ΔG_1 cal/mol	ΔH_2 cal/mol	ΔG_2 cal/mol
650	- 8.236x10 ⁵	- 8.871x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.606x10 ⁵
660	- 8.236x10 ⁵	- 8.880x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.610x10 ⁵
670	- 8.236x10 ⁵	- 8.890x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.614x10 ⁵
680	- 8.236x10 ⁵	- 8.900x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.618x10 ⁵
690	- 8.236x10 ⁵	- 8.909x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.622x10 ⁵
700	- 8.237x10 ⁵	- 8.910x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.626x10 ⁵
710	- 8.237x10 ⁵	- 8.928x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.630x10 ⁵
720	- 8.237x10 ⁵	- 8.938x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.634x10 ⁵
730	- 8.238x10 ⁵	- 8.948x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.638x10 ⁵
740	- 8.238x10 ⁵	- 8.957x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.642x10 ⁵
750	- 8.239x10 ⁵	- 8.967x10 ⁵	- 2.350x10 ⁵	- 2.646x10 ⁵

ΔH_1 , ΔG_1 para la reacción de formación de acetnitrilo .

ΔH_2 , ΔG_2 para la reacción de formación de HCN .



REACCIONES:



CAMBIOS DE ENTALPIA Y ENERGIA LIBRE EN LAS REACCIONES EN EL PROCESO DE AMOXIDACION PARA PRODUCCION DE ACALONITRILLO

FUENTE: REVISTA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETRULO ENERO 1973.

GRAF. LDK *LDK* ABRIL 1975

Teniendo en cuenta los valores de ΔG , para todas las reacciones consideradas, vemos que en todos los casos es bastante negativo el cambio de energía libre lo que implica que las reacciones son espontáneas y el valor de K_p es también alto de acuerdo con la ecuación ;

(25)

$$\Delta G = - R' T \ln K_p$$

Los valores de ΔH nos indican que las reacciones son altamente exotérmicas, y este calor que se genera en el reactor se utiliza en las instalaciones industriales para generar vapor de alta presión. Por esta razón es que podemos considerar al reactor de la unidad SOHIO como una especie de caldero-reactor ya que se introduce agua de calderos al serpentín de producción de vapor de alta.

3.4. Descripción del proceso SOHIO

3.4.1. El Reactor

Dentro de la unidad SOHIO para producción de acrilonitrilo, el primer equipo que se encuentra es el reactor. El reactor es del tipo de lecho catalítico fluidizado.

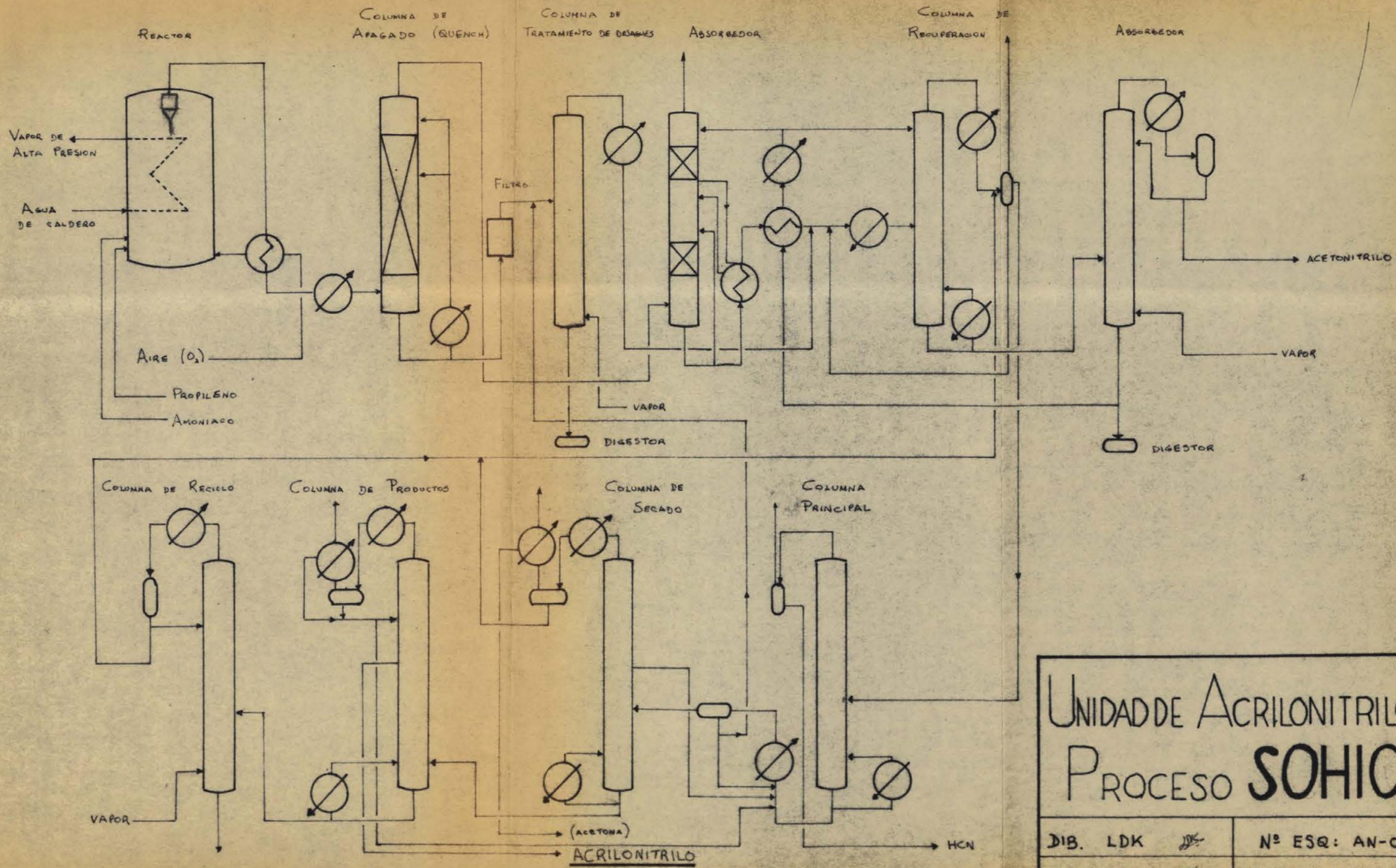
Este tipo de reactor presenta varias ventajas para el tipo de reacción que ocurre en el proceso. El movimiento violento y la rápida redistribución de los sólidos resultan en un sistema con una temperatura remarcablemente estable sin puntos calientes (hot spots). Esto permite un buen control de la reacción. Además el empleo de los catalizadores permite una gran área de contacto entre los vapo-

res reactivos y el catalizador (que es sólido) y también un buen contacto entre fases . Y una tercera ventaja la da el hecho de que frente a un sistema de lecho no fluidizado se tendría que considerar una instalación para manipuleo de sólidos , que en el caso de un lecho catalítico fluido es innecesaria ya que como los sólidos se encuentran fluidizados se pueden manipular como cualquier fluido por tuberías y equipos similares ,(26).

La principal desventaja de un lecho fluidizado es el tipo de flujo no ideal que se tiene para el sistema , Esto causa que para cualquier tipo de reacción , un reactor de lecho móvil tenga un volumen mayor que uno de lecho fijo ; y además que este volumen, se incremente conforme uno incremente la conversión . En el caso de la reacción de amonoxidación , dado que procede con alta conversión , esta desventaja no afecta en forma significativa , pero si se obtienen ventajas importantes sobre un lecho fijo mediante lo citado anteriormente .

Al reactor ingresan las materias primas en fase vapor . El aire es comprimido y precalentado enfriando el efluente del reactor . La reacción se realiza a una presión de entre 1.16 y 3 atmósferas dependiendo del tipo de catalizador empleado , la temperatura del reactor se mantiene entre 300 y 500°C . El tiempo de contacto está en el rango de unos pocos segundos .

La operación se realiza en forma continua y sin reflujo , ya que el alto nivel de conversión que se logra no lo requiere (27,28).



UNIDAD DE ACRILONITRILO

PROCESO SOHIO

DIB. LDK	Nº ESQ: AN-01
REV. LDK	UNI - ABRIL - 1975

3.4.1.a. Catalizadores

Se emplean dos tipos de catalizadores desarrollados por SOHIO. El primero de ellos es el de tipo trimetálico P-Mo-Bi y era el que se usó en las primeras unidades. Actualmente está siendo desplazado por uno bimetalico U-Sb. El catalizador bimetalico mejora la conversión de 66 a 68 % en el caso de plantas industriales pero posee como desventaja que contiene algo de radioactividad derivada del uranio desgastado que se emplea en su constitución. La forma típica del catalizador es microesferoidal y su tamaño está en el rango de los catalizadores convencionales de craqueo del tipo alta alúmina. Tanto las pérdidas como la vida del catalizador están relacionadas a la eficiencia del sistema de ciclones múltiples en vez de la deterioración química ó física del mismo. Bajo condiciones normales de operación la regeneración no es necesaria, pero si se requiere se lleva fácilmente a cabo con aire, desconectando las líneas de alimentación de propileno y amoniaco y haciendo funcionar el sistema por un corto período (27,28).

El catalizador no es afectado por trazas de constituyentes contaminantes, sin embargo una carga de hidrocarburos desulfurizada es conveniente para prevenir la deposición de sulfatos. La preparación del catalizador es simple y puede ser hecha en la misma planta si se desea; la fabricación de las partículas y su calcinación son los pasos más importantes en la producción de catalizador (19).

Los rendimientos alcanzados con cada tipo de catalizador están indicados en la tabla 3-5 , (28,29,30) .

Tabla 3-5

Rendimientos de productos por tonelada de propileno

	Catalizador P-Mo-Bi		Catalizador U-Sb
	(I)	(II)	
Acrilonitrilo	0.73-0.8*	0.80	1.01
Acetonitrilo	0.02-0.11	0.10	0.09
HCN	~0.13	0.15-0.20	0.08
Ton prod/ton C ₃	0.97	1.05	1.18

Gradualmente se ha ido incrementando la cantidad de productos que se obtienen por tonelada de propileno cargada . El valor máximo obtenible, 1.26, se puede calcular mediante los datos de la tabla 3-2 . El catalizador más reciente llega a 1.18 , lo que significa un 93.7 % del máximo teórico posible .

3.4.2. Sección de separación de productos

En esta sección el efluente del reactor es pasado por un absorbedor donde se produce un apagado (quench) de la reacción mediante rociadores de agua . Los productos orgánicos valiosos son removidos bajo la forma de una solución acuosa .

De este modo son eliminadas las impurezas debidas a los inertes (nitrógeno y propano) , a los óxidos de carbono , propileno no reaccionado , vapor de agua y oxígeno .

Un análisis típico de los gases de desecho del absorbedor indicaría el siguiente resultado ; (30)

nitrógeno	90.0 %
CO & CO ₂	6.0 %
Propileno	1.5 %
Propano	1.5 %
H ₂ O & O ₂	1.0 %

El efluente del reactor es neutralizado a fin de controlar la cantidad de amoniaco no convertida . Esto se realiza por absorción en ácido ,obteniéndose al sulfato ó el acetato de amonio según el ácido empleado . El sulfato de amonio puede emplearse como fertilizante ,en tanto que el acetato se procesa,para recuperación de amoniaco y su recicló ,por descomposición térmica (30). La solución acuosa rica en acrilonitrilo y acetonitrilo es enviada a una columna de recuperación ,en la que son separados por el tope un corte de acrilonitrilo húmedo y por los fondos la fracción de acetonitrilo también húmeda .

3.4.3. Purificación de productos

La corriente que contiene el acrilonitrilo contiene también HCN por lo que se requiere de un control riguroso de la acidez de la misma . La remoción del HCN es realizada con alta eficiencia y el producto contiene más de 98 % de HCN y no requiere tratamiento posterior (30).

Tabla 3-6Especificaciones de los Productos de la Unidad SOHIO--- ACRILONITRILO

Pureza	99.9 % en peso
pH	6.5 - 7.5
gravedad específica 25/15.5°C	0.7990 - 0.8020
rango de ebullición	74.5 - 79.0°C
índice de refracción N_D^{20}	1.3882 - 1.3892
apariencia	transparente
acetonitrilo	menos de 500 ppm
HCN	menos de 5 ppm
aldehídos	20 ppm
material no volátil	60 ppm
agua	el nivel que sea requerido

--- ACETONITRILO

pureza	99.0 % en peso
rango de destilación	80.9 - 82.2°C
acidez (como CH_3-COOH)	0.003 % en peso
amoníaco libre	1.1 ppm
agua	0.2 % en peso

3.4.4. Variables de Operación en la unidad SOHIO de acrilonitrilo

La reacción en el reactor de la unidad SOHIO se realiza en un lecho fluidizado de catalizador . Esto y el hecho de que la misma sea exotérmica obliga a que las variables a controlar sean las siguientes ;

3.4.4.a. Presión y Temperatura de la Carga

Debido a que las reacciones ocurren en fase gaseosa , las constantes de equilibrio se encuentran expresadas en función de la presión (ver sección 3.3.) . Es por esta razón que resulta importante controlar las variaciones de la presión en el reactor respecto de la presión óptima de reacción (variable con el tipo de catalizador empleado) ; con esto se logra mejorar la producción de acrilonitrilo y los coproductos ,ya que se controla el punto de equilibrio y con ello la conversión .

Es también importante controlar la temperatura ya que como la reacción es exotérmica ,puede suceder que la temperatura llegue a niveles indeseables ; teniendo en cuenta el hecho de que la temperatura influye sobre la velocidad de reacción es igualmente deseable que se mantenga en el nivel óptimo (alrededor de $300-500^{\circ}\text{C}$) para el tipo de catalizador y carga empleada .

3.4.4.b. Cantidad de catalizador

Esta cantidad debe ser mantenida constante de manera de permitir que se tengan velocidades espaciales y tiempos de residencia tam-

bién constantes . Esto es muy importante ya que como la operación se lleva a cabo sin reflujo ,no habrá retorno de material no reaccionado (para ser reprocesado) y debe tratar de lograrse la conversión máxima en un solo paso .

3.4.4.c. Actividad del catalizador

El catalizador empleado se desactiva muy poco y no se depositan en él contaminantes permanentes , sin embargo es necesario controlar periódicamente su actividad para verificar que la desactivación se mantiene en un nivel permisible . Una disminución en la conversión será señal de que el catalizador se estaría desactivando si es que las demás variables de operación se mantienen en su nivel óptimo ,y por lo tanto se necesitará una regeneración .

3.4.4.d. Relaciones amoniaco/hidrocarburo y aire/hidrocarburo

El propileno introducido al reactor no es un corte de alta pureza sinó una mezcla de propileno y propano (en general de 60/40 % hasta 90/10) . Las proporciones de las otras materias primas respecto del propileno han de tomarse entonces respecto de la cantidad de hidrocarburo total introducida (más fácilmente medible) teniendo en cuenta el contenido de propileno en el mismo corte empleado . El propano al igual que el nitrógeno incluido en el aire es inerte en las reacciones ,y al regular estas relaciones debe tratarse de no alterar el valor de la constante de equilibrio (que está en función de la presión total del sistema) .

El valor estequiométrico de estas relaciones es (ver tabla 3-2) 1 : 1 (molar) para amoniaco/hidrocarburo , y 7.17 : 1 para la aire/hidrocarburo ; esto si es que el hidrocarburo es un corte de propileno puro .

3.4.4.e. Flujo de agua de caldero al serpentín del reactor

Es posible aprovechar el calor de las reacciones y al mismo tiempo controlar la temperatura en el reactor mediante la producción de vapor de alta presión en un serpentín colocado dentro del reactor . La cantidad de vapor producida está en función de la cantidad de materia prima que va a reaccionar y en función del grado de conversión que se piensa alcanzar ; por esto es que el flujo de agua debe ser regulado de una manera análoga a como se regulen las relaciones indicadas en 3.4.4.d.

Las variables en el resto de equipos en la planta (absorbedores , intercambiadores ,etc.) son propias de equipo que es común y por lo tanto no se indican . Además las operaciones que siguen al reactor se llevan a cabo a temperaturas bajas y a presión esencialmente atmosférica ,lo que hace que sean aún más normales .

3.5. Balances de Materia

La tabla 3-7 contiene los balances de energía y las especificaciones de materia prima para la unidad SOHIO de 24,000 TM/A .

Tabla 3-7

Balances de materia

(31)

	% peso	Ton/hora	Ton/año	Ton/Ton producto
Propileno	90.0	4.18	33,100	1.38
Amoniaco	99.5	1.83	14,490	0.60
Aire	----	32.98	261,120	10.90
Acrilonitrilo	99.9	3.03	24,000	1.00
HCN	99.0	0.51	4,040	0.17
Acetonitrilo	75.0	0.50	3,960	0.165

Relación Propileno/Amoniaco (en peso)

Tabla 3-2 2.4708

Tabla 3-7 2.2843

Relación Aire/Propileno (en peso)

Tabla 3-2 4.9152

Tabla 3-7 7.8888

La relación propileno/amoniaco es algo inferior a la calculada estequiométricamente debido a que el propileno que se introduce no es 100 % puro como se asumió y a que se requiere de algo de exceso de NH_3 .

3.6. Balances de energía

La tabla 3-8 contiene los requerimientos de energía y servicios para la unidad SOHIO de 24,000 TM/A .

Tabla 3-8

Requerimientos de energía y servicios

(31)

Electricidad	2,240 kwh/h
Vapor de alta presión	4.0 TM/h
Agua de refrigeración	2.8 TM/h
Agua de calderas	24.0 TM/h
Combustible	30 MMkcal/h
Aire de instrumentos	120 Nm ³ /h (6 kg/cm ²)
Catalizadores y químicos	1500 US\$/día

3.7. Requerimientos de mano de obra directa

	Trabajo por día hombres/día	Trabajo en turno hombres/turno	TOTAL
Jefe	1	---	1
Capataz	---	1	4
Operador	---	5	20
Obreros	2	2	10
Total	3	8	35

3.8. Vida Útil de las Instalaciones

El hecho de emplear un proceso que involucra el transporte y permanencia de sustancias corrosivas obliga a pensar en que las instalaciones tendrán una vida útil corta .

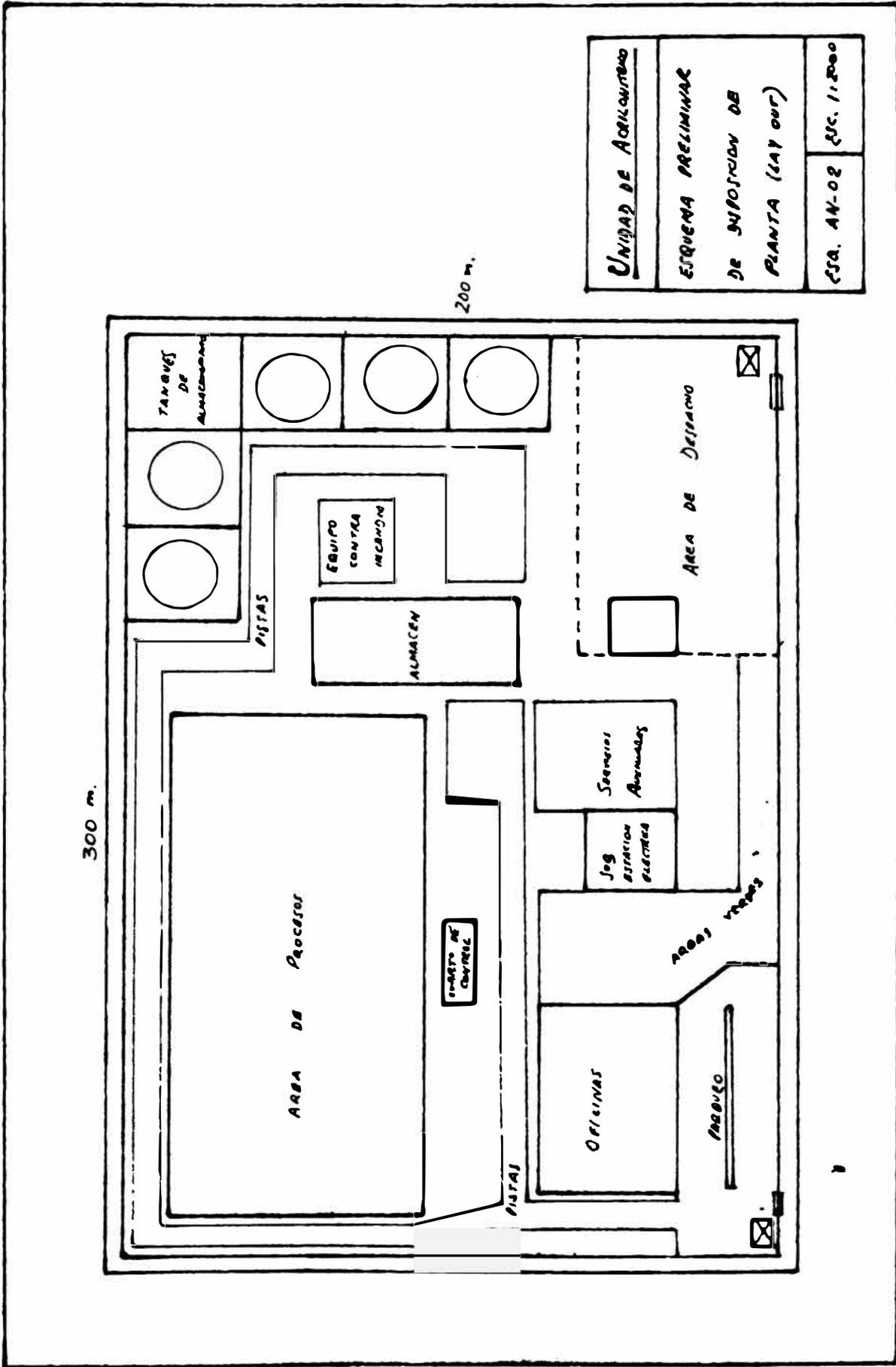
Por lo tanto se puede considerar una vida útil de 10 años para los fines de depreciación ,sin que esto quiera decir que al cabo de ese plazo la instalación esté inoperante (un adecuado programa de mantenimiento extendería la vida útil de las instalaciones) .

3.9. Disposición preliminar de planta

El esquema AN-02 presenta una posible disposición de planta (lay-out).

Para realizarlo se ha considerado un terreno de 300 x 200 m ,y se han tratado de ubicar los equipos y edificios con criterio lógico y criterio de seguridad . El esquema no pretende ser la disposición óptima que un diseño de ingeniería más detallado consideraría .

Se incluye una zona reservada para áreas verdes como contribución de la planta a la conservación del medio ambiente .



CAPITULO 4

ESTUDIO ECONOMICO

4. Estudio Económico

El estudio económico que se presenta a continuación es de tipo preliminar ,y no pretende sinó dar una idea respecto de la rentabilidad del proyecto de la planta de acrilonitrilo con el proceso SOHIO . Cabe anotar que muchos de los métodos y asunciones han sido considerados en base a criterios de experiencia personal .

4.1. Estimación de la Inversión

4.1.1. Base de la estimación .

La base para esta estimación es la cotización hecha en 1971 por Japan Gasoline para una planta de similares características a las consideradas en los capítulos anteriores (32).

por esta razón no es necesario utilizar exponentes de capacidad , sinó sólomente índices de costos .

4.1.2. Índice de costos .

En vista del alto grado de incertidumbre respecto a las tendencias de los precios de materias primas y equipos en general en el mercado mundial ,debido principalmente a las consecuencias de la crisis mundial de petróleo ,se ha preferido utilizar el índice de costos de la división de productos químicos y plásticos de la compañía Union Carbide (UC) ,(33) . Estos índices se emplean para costos de equipos y servicios de ingeniería ,pero no para los fletes .

Los valores y las tasas medias de crecimiento de estos índices se muestran en la tabla 4-1 .

Tabla 4-1

Índice de Costos de la Union Carbide (Div.de prod.químicos y plásticos'

Año base ----- 1958 (Índice 100.0)

Período	Crecimiento anual medio	Año	Índice
1958-1973	4.7 %	1973	171.0
1973-1974	15.7 % (e)	1974	198.0
1974-1975	16.6 % (e)	1975	231.0
1975-1976	5.6 % (e)	1976	244.0

(e) --- estimado por UC .

Por interpolación lineal se calcula el índice para 1971 (entre 1958 y 1973) ,obteniéndose el valor 161.5 .

En base a la experiencia se añade un factor de inflación y fletes, estimado como 20 % . por lo tanto el factor a emplearse para actualizar los costos de la inversión será :

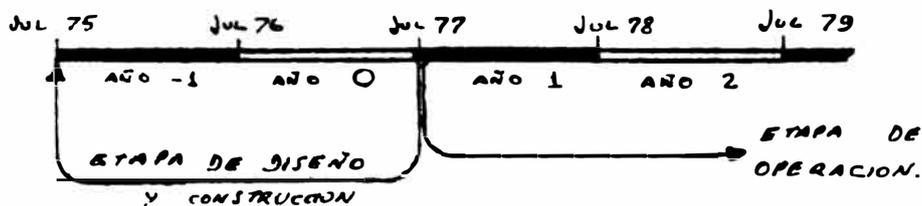
$$F = (I_{76} / I_{71}) 1.20 = (244.0 / 161.5) 1.20 = 1.813003$$

Este factor se multiplica por cada uno de los rubros en que se divide la inversión (excepto fletes) a fin de tener el valor actualizado para 1976 ,año escogido para una posible propuesta comercial .

4.1.3. Calendario del Proyecto .

Se considera en el estudio que sigue , que el año 1 de operación es el comprendido entre julio de 1978 y junio de 1979 . Los dos años anteriores serían utilizados para el diseño y construcción de la planta , y por razones de hacer más claro el cálculo de la rentabilidad (método DCF) se les denomina años -1 y 0 .

Graficamente esto se visualiza en el siguiente gráfico .



4.1.4. Cambio de moneda .

Para el cambio de los dólares americanos (US \$) en los que estaba especificada la propuesta de Japan Gasoline , hacia soles peruanos se emplea el factor $1 \text{ US } \$ = 38.70 \text{ soles peruanos}$.

4.1.5. Repuestos .

Se prevee adquisición de repuestos en los años 5 , 10 , y 15 de operación . Los costos de estos repuestos se calculan teniendo en cuenta el costo de los repuestos incluido en la estimación de la inversión y considerando un alza de precios del 10 % anual hasta el año indicado , desde el año cero .

Los costos son 11.2 , 18.0 y 29.0 MM soles para los años 5 , 10 y 15 respectivamente .

4.1.6. Fletes

Los fletes han sido considerados como con un alza del 100 % entre 1971 y 1977 .

Los resultados de la estimación se indican en la tabla 4-2 ,en lo que respecta a la inversión fija .

La inversión total será determinada más adelante considerando los repuestos y el diferencial del capital de trabajo .

4.2. Costos de Producción

El costo de producción ha sido subdividido en costos fijos y costos variables .

4.2.1. Costos Fijos .

Son aquellos que no varían con el volumen de producción . Los costos fijos incluyen ; mano de obra y supervisión directa , costo de personal administrativo ,seguros de planta , mantenimiento y depreciación .

4.2.1.a. Mano de obra y supervisión directa .

Con referencia al cuadro en la sección 3.7., que indica el tipo y cantidad de personal en este ítem ,y teniendo en cuenta el sueldo ó jornal asignado a cada tipo de trabajador se evalúa este costo. Se consideran 14 remuneraciones por año (de modo de incluir bonificaciones y gratificaciones) y se ha previsto un alza anual de sueldos y jornales del 10 % anual .

Tabla 4-2Estimación de la Inversión

	<u>M US\$</u>	<u>MM soles</u>
1. Unidades de proceso y servicios		
Convertidores	2066.8	79.985
Torres	489.5	18.944
Recipientes y tanques	290.1	11.227
Intercambiadores de calor	634.6	24.559
Bombas y compresores (inc.motor)	580.2	22.454
Tubería	1885.5	72.969
Equipo eléctrico e instrumentación	1450.4	56.130
Aislamiento y pintura	181.3	7.016
Equipo de seguridad contra incendios	90.7	3.510
Edificios y estructuras de acero	725.2	28.065
Preparación del sitio, estructuras de concreto y cimientos	417.0	16.138
Total unidades de proceso y servicios	8811.3	340.997
2. Fletes	800.0	30.960
3. Supervisión y trabajo de campo	5130.8	198.562
4. Ingeniería	616.4	23.855
5. Royalties y pago de licencia	1813.0	70.163
6. Arranque y puesta en marcha	2266.3	87.706
7. Remuestros	163.2	6.316
8. Contingencias	761.5	29.470
T O T A L	20,362.5	788.029

Los resultados para el año 1 son los siguientes :

	M soles/mes	M soles/año	Nº	Total M soles/año
Jefe	24.20	338.80	1	338.8
Capataz	18.15	254.10	4	1016.4
Operador	14.52	203.28	20	4065.6
Obrero	9.68	135.52	10	1355.2
TOTAL	-----	-----	35	6776.0

4.2.1.b. Costo del Personal Administrativo .

Se ha evaluado como el 45 % del costo de la mano de obra y supervisión directa . Análogamente , se estima que también tendrá un aumento anual del 10 % , por lo que el costo previsto para el año 1 es 3049.2 M soles (refiriéndose al punto anterior) .

4.2.1.c. Seguros de Planta .

Se estima un valor anual constante igual al 1 % del total de la inversión de la planta instalada .

Seguros = $0.01 \cdot 788029 = 7880.3$ M soles/año

4.2.1.d. Mantenimiento

Considerado anualmente constante como el 3.5 % del total de la inversión de la planta instalada . Incluye el mantenimiento de almacenes , edificios y la planta misma .

Mantenimiento = $0.035 \cdot 788029 = 27581.0$ M soles/año

4.2.1.e. Depreciación

Teniendo en cuenta lo indicado en la sección 3.8. (referente a

la vida útil de la planta) y considerando un procedimiento de depreciación lineal por el período de la vida útil (10 años) ,se obtiene el valor depreciable anualmente .

$$\text{Depreciación} = 788029 / 10 = 78802.9 \text{ M soles/año}$$

El resumen de los costos fijos se encuentra en la tabla 4-3 , en la que por conveniencia se han indicado los puntos 4.2.1.a/b en forma conjunta ,al igual que los puntos 4.2.1.c/d .

4.2.2. Costos Variables

Se toman como costos variables a todos aquellos costos que dependen del volumen de producción .

Básicamente se refieren a los costos de materias primas y servicios auxiliares ,los que se han estimado como con un alza anual del 10 %.

En el caso de las materias primas y coproductos se han utilizado las referencias más recientes para estimar el costo en el año 1 , utilizando el alza del 10 % anual (34) .

Respecto de los servicios auxiliares ,su costo ha sido calculado en base al estimado promedio de Petróleos del Perú para el área de Talara y el año 1976 ,llevado al año 1 con el 10 % de alza anual.

Los costos de la materia prima en 1975 son :

	US \$/lb	US \$/TM	soles/TM
Propileno (corte C ₃)	0.20	440.53	17048.5
Amoniaco	----	236.50	9152.6
Acetonitrilo	0.39	859.03	33244.5
HCN	0.115	253.30	9802.7

Tabla 4-3

Costos Fijos --- en millones de soles

Año	(1)	(2)	(3)	Total Costos Fijos
1	9.825	35.461	78.803	124.089
2	10.808	35.461	78.803	125.072
3	11.888	35.461	78.803	126.152
4	13.077	35.461	78.803	127.341
5	14.385	35.461	78.803	128.649
6	15.824	35.461	78.803	130.088
7	17.406	35.461	78.803	131.670
8	19.147	35.461	78.803	133.411
9	21.061	35.461	78.803	135.325
10	23.167	35.461	78.803	137.431
11	25.484	35.461	0.0	60.945
12	28.032	35.461	0.0	63.493
13	30.836	35.461	0.0	66.297
14	33.919	35.461	0.0	69.380
15	37.311	35.461	0.0	72.772
16	41.042	35.461	0.0	76.503
17	45.147	35.461	0.0	80.608
18	49.661	35.461	0.0	85.122
19	54.627	35.461	0.0	90.088
20	60.090	35.461	0.0	95.551

(1) Mano de obra y supervisión directa ,más Costo de Administrativos

(2) Seguros y mantenimiento

(3) Depreciación .

Otorgando valor comercial a los conproductos (acetonitrilo y HCN) y teniendo en cuenta los balances de materia y requerimientos de servicios (tablas 3-7 y 3-8) ,se puede calcular el costo variable por tonelada de acrilonitrilo producida , el que se indica en la tabla 4-4 para el primer año de operación .

Se ha asumido que este costo variable unitario crece a razón de un 10 % anual ,y considerando la producción de la planta como dependiente de la demanda del mercado (y por lo tanto tratando de cubrirla al máximo -- ref.tabla 2-2) se pueden obtener los costos variables anuales .

Este cálculo se indica en la tabla 4-5 ,así como también el relativo al costo de producción anual (igual a la suma de los costos fijo y variable anuales) .

Tabla 4-4

Costo Variable Unitario --- No 1

	unidad	(a)	(b)	soles/TM acrilonitrilo
<u>Materia Prima</u>				
- propileno (parte 1 ₀)	TM	1.581	22691.4	31514.1
- acrilato	TM	0.600	17162.1	759.5
- HCN (coproducto)	TM	0.170	15047.4	(2218.1)
- acetonitrilo (coprod.)	TM	0.165	44248.4	(1301.0)
- sulfatos y catalizadores	----	-----	-----	877.8
Subtotal I	----	-----	-----	29982.1
<u>Servicios</u>				
- electricidad	100 kW	7.592	75.2	541.1
- vapor de alta presión	TM	1.320	118.6	156.6
- agua de enfriamiento	TM	0.924	0.2	0.2
- agua blanda (calderos)	TM	7.920	2.6	20.6
- combustible	MM Kcal	9.900	43.0	425.7
- aire de instrumentos	N m ³	39.600	0.5	19.8
Subtotal II	----	-----	-----	1164.0
T O T A L	----	-----	-----	31146.1

(a) consumo ; unidad/TM acrilonitrilo.

(b) costo ; soles/unidad.

Tabla 4-5

Costos de Producción --- en millones de soles

Año	Costos Variables			Costos Fijos Msoles/Año	Costo de Producción Msoles/Año
	(1)	(2)	(3)		
1	24.0	31.15	747.6	124.1	871.7
2	24.0	34.26	822.2	125.1	947.3
3	24.0	37.69	904.6	126.2	1030.8
4	24.0	41.46	995.0	127.3	1122.3
5	24.0	45.60	1094.4	128.6	1223.0
6	24.0	50.16	1203.8	130.1	1333.9
7	24.0	55.18	1324.3	131.7	1456.0
8	24.0	60.69	1456.6	133.4	1590.0
9	24.0	66.76	1602.2	135.3	1737.5
10	24.0	73.44	1762.6	137.4	1900.0
11	24.0	80.79	1939.0	60.9	1999.9
12	24.0	88.86	2132.6	63.5	2196.1
13	24.0	97.75	2346.0	66.3	2412.3
14	24.0	107.52	2580.5	69.4	2649.9
15	24.0	118.28	2838.7	72.8	2911.5
16	24.0	130.11	3122.6	76.5	3199.1
17	24.0	143.12	3434.9	80.6	3515.5
18	24.0	157.43	3778.3	85.1	3863.4
19	24.0	173.17	4156.1	90.1	4246.2
20	24.0	190.49	4571.8	95.6	4667.4

(1) Producción : miles de toneladas métricas/año .

(2) Costo unitario de producción : miles de soles/tonelada métrica .

(3) Costo variable anual : en millones de soles .

4.3. Valor de Ventas

4.3.1. Precio de venta de acrilonitrilo

Se han considerado dos precios de venta ,uno para el mercado interno y otro para el mercado del GRAN .

4.3.1.a. Mercado Interno

Se utiliza el precio ex-planta que se obtiene sumando el precio que debería pagarse por el producto importado (se asume precio en EE.UU.) y el costo del flete de importación ; este flete es estimado como 220 US\$/TM para el año 1 .

Luego el precio será escalado en 10 % anualmente .

Así se tiene :

precio de venta EE.UU. 1975	0.24	US \$/lb (34)
-----	528.6	US \$/TM
estimado EE.UU. año 1	27229.3	soles/TM
estimado del flete - año 1	<u>8514.0</u>	soles/TM
precio Perú ex-planta -año 1	35743.3	soles/TM

4.3.1.b. Mercado de Exportación GRAN

Se considera como la diferencia entre el precio de venta en el mercado interno y el flete promedio entre los países de la sub-región (estimado como US \$/TM 80.0 para el año 1). Luego :

precio Perú ex-planta - año 1	35743.3	soles/TM
flete promedio GRAN - año 1	<u>3096.0</u>	soles/TM
Precio GRAN - año 1	32647.3	soles/TM

4.3.2. precio de venta de los coproductos

No se considera la venta de coproductos en el cuadro de ventas ya que el objeto principal de ventas es el acrilonitrilo . Sin embargo se les ha otorgado valor en el cuadro de costo unitario de materias primas , tabla 4-4 .

Los valores totales de las ventas se indican en la tabla 4-6 , y han sido calculados de manera análoga a los costos de producción en la sección 4.2.

4.4. Utilidades e Impuestos

La diferencia entre el valor de ventas (tabla 4-6) y el costo de producción (tabla 4-5) da el valor de la utilidad bruta .

Si la utilidad bruta fuese negativa , la renta imponible y por lo tanto los impuestos serán cero ; y la utilidad neta será igual a la utilidad bruta . Por el contrario si fuese positiva , la renta imponible es igual a la utilidad bruta y se considera a los impuestos como el 45 % de la renta imponible , incluyendo en este porcentaje globalmente a todos los impuestos de modo de simplificar este estudio ; en este caso la utilidad neta es la diferencia entre la renta imponible y los impuestos .

Los resultados de estos cálculos se encuentran en la tabla 4-7 .

Tabla 4-6

Valor de Ventas --- en millones de soles

Año	Mercado Perú		Mercado GRAN			Total	
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(3)
1	15.3	37.74	577.4	8.7	32.65	284.1	861.5
2	17.0	41.51	705.7	7.0	35.92	251.4	957.1
3	16.5	45.67	753.6	7.5	39.51	296.3	1049.9
4	17.8	50.23	894.1	6.2	43.46	269.5	1163.6
5	19.0	55.26	1049.9	5.0	47.80	239.0	1288.9
6	20.4	60.78	1239.6	3.6	52.58	189.3	1429.2
7	22.0	66.86	1470.9	2.0	57.84	115.7	1586.6
8	23.5	73.54	1728.2	0.5	63.63	31.8	1760.0
9	24.0	80.90	1941.6	0.0	69.99	0.0	1941.6
10	24.0	88.99	2135.8	---	---	---	2135.8
11	24.0	97.89	2349.4	---	---	---	2349.4
12	24.0	107.68	2584.3	---	---	---	2584.3
13	24.0	118.44	2842.6	---	---	---	2842.6
14	24.0	130.29	3127.0	---	---	---	3127.0
15	24.0	143.32	3439.7	---	---	---	3439.7
16	24.0	157.65	3783.6	---	---	---	3783.6
17	24.0	173.41	4161.8	---	---	---	4161.8
18	24.0	190.76	4578.2	---	---	---	4578.2
19	24.0	209.83	5035.9	---	---	---	5035.9
20	24.0	230.81	5539.4	---	---	---	5539.4

- (1) Ventas : miles de toneladas métricas/año .
- (2) Precio de venta : miles de soles/tonelada métrica .
- (3) Valor de ventas : millones de soles/año .

Tabla 4-7**Utilidad Bruta , Impuestos & Utilidad Neta --- en MM soles**

Año	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	861.5	871.7	(10.2)	0.0	0.0	(10.2)
2	957.1	947.3	9.8	9.8	4.4	5.4
3	1049.9	1030.8	19.1	19.1	8.6	10.5
4	1163.6	1122.3	41.3	41.3	18.6	22.7
5	1288.9	1223.0	65.9	65.9	29.7	36.2
6	1429.2	1333.9	95.3	95.3	42.9	52.4
7	1586.6	1456.0	130.6	130.6	58.8	71.8
8	1760.0	1590.0	170.0	170.0	76.5	93.5
9	1941.6	1737.5	204.1	204.1	91.8	112.3
10	2135.8	1900.0	235.8	235.8	106.1	129.7
11	2349.4	1909.9	349.5	349.5	157.3	192.2
12	2584.3	2196.1	388.2	388.2	174.7	213.5
13	2842.6	2412.3	430.3	430.3	193.6	236.7
14	3127.0	2649.9	477.1	477.1	214.7	262.4
15	3439.7	2911.5	528.2	528.2	237.7	290.5
16	3783.6	3199.1	584.5	584.5	263.0	321.5
17	4161.8	3515.5	646.3	646.3	290.8	355.5
18	4578.2	3863.4	714.8	714.8	321.7	393.1
19	5035.9	4246.2	789.7	789.7	355.4	434.3
20	5539.4	4667.4	872.0	872.0	392.4	479.6

- (1) Valor de ventas --- tabla 4-4 .
- (2) Costo de producción --- tabla 4-3 .
- (3) Utilidad Bruta : (1) menos (2) .
- (4) Renta imponible : - igual a (3) si esta es positiva .
- cero si (3) es negativa .
- (5) Impuestos : 45 % de la renta imponible .
- (6) Utilidad Neta : (4) menos (5) .

4.5. Capital de Trabajo

Es una cantidad de dinero que es necesaria para el funcionamiento de la planta en el aspecto económico . En el presente estudio ha sido evaluado tomando en cuenta tres elementos .

4.5.1. Inventario de materia prima

El estudio considera un inventario (stock) de materia prima por 21 días de operación (año de operación de 330 días) y evaluado al costo de la misma por medio del subtotal I en la tabla 4-4 , con aumento anual del 10 % y el factor $21/330$ referente a los días de operación .

4.5.2. Inventario de productos

De manera similar se considera un inventario de productos por 21 días de operación evaluado al costo de producción (tabla 4-5) y calculado de manera análoga al inventario de materia prima .

4.5.3. Efectivo en caja (cuentas por cobrar menos cuentas por pagar)

Esta cantidad sirve para el movimiento de dinero relativo a las cuentas y facturas por pagar ó cobrar . Se evalúa al valor de ventas (sec.4.3.) en 30 días sobre el año de 365 días .

Todos estos cálculos se encuentran en la tabla 4-8 ,la que considera el incremento anual (diferencial) del capital de trabajo . El valor total del capital de trabajo se recupera al fin de las operaciones .

Tabla 4-8

Capital de Trabajo --- en millones de soles

Año	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	719.6	45.8	871.7	55.5	861.5	70.8	172.1	172.1
2	791.5	50.4	947.3	60.3	957.1	78.7	189.4	17.3
3	870.7	55.4	1030.8	65.6	1049.9	86.3	207.3	17.9
4	957.7	60.9	1122.3	71.4	1163.6	95.6	227.9	20.6
5	1053.5	67.0	1223.0	77.8	1288.9	105.9	250.7	22.8
6	1158.9	73.7	1333.9	84.9	1429.2	117.5	276.1	25.4
7	1274.8	81.1	1456.0	92.7	1586.6	130.4	304.2	28.1
8	1402.2	89.2	1590.0	101.2	1760.0	144.7	335.1	30.9
9	1542.5	98.2	1737.5	110.6	1941.6	159.6	368.4	33.3
10	1696.7	108.0	1900.0	120.9	2135.8	175.5	404.4	36.0
11	1866.4	118.8	1999.9	127.3	2349.4	193.1	439.2	34.8
12	2053.0	130.6	2196.1	139.8	2584.3	212.4	482.8	43.6
13	2258.3	143.7	2412.3	153.5	2842.6	233.7	530.9	48.1
14	2404.2	158.1	2649.9	168.6	3127.0	257.0	583.7	52.8
15	2732.6	173.9	2911.5	185.3	3439.7	282.7	641.9	58.2
16	3005.8	191.3	3199.1	203.6	3783.6	311.0	705.9	64.0
17	3306.4	210.4	3515.5	223.7	4161.8	342.1	776.2	70.3
18	3637.0	231.4	3863.4	245.9	4578.2	376.3	853.6	77.4
19	4000.7	254.6	4246.2	270.2	5035.9	413.9	938.7	85.1
20	4400.8	280.1	4667.4	297.0	5539.4	455.3	1032.4	----

- (1) Existencia anual de materia prima : MM soles .
- (2) 21 días de la existencia anual de materia prima (año 330 d) : MM sol
- (3) Costo de producción anual (año 330 días) : MM soles .
- (4) Existencia de productos : 21 días al costo de producción ,MM soles
- (5) Valor de ventas anual (año 365 días) : MM soles .
- (6) Cuentas por cobrar menos cuentas por pagar : 30 días al precio de venta .
- (7) Capital de trabajo anual : MM soles .
- (8) Diferencial del capital de trabajo anual : MM soles .

4.6. Inversión Total

La inversión total está conformada por la inversión fija (tabla 4-2) ,por el costo de remuestos (sección 4.1.5.) y por el diferencial del capital de trabajo (tabla 4-8) .

Considerando que la inversión fija se hace con recursos propios ,se puede asumir como que se distribuye como sigue :

Total inversión fija -----	788.03 MM soles
año (-1) : 40 % del total -----	315.21 MM soles
año (0) : 60 % del total -----	472.82 MM soles

La distribución de la inversión total a lo largo del proyecto se indica en la tabla 4-9 .

Es necesario recordar que la inversión es siempre negativa ,a excepción de la recuperación del capital de trabajo en el año 20 .

4.7. Flujo Neto de Fondos (FNF)

El FNF se evalúa mediante la suma algebraica de la inversión total (tabla 4-9) ,la utilidad neta (tabla 4-7) y la depreciación (sección 4.2.1.1.)

El resultado se presenta en la tabla 4-10 y sirve para evaluar la rentabilidad del proyecto .

Tabla 4-9

Inversión Total --- en millones de soles .

AÑO	Inversión	Requuestos	Capital de Trabajo (diferencial)	TOTAL
-1	315.2	0	0	0
0	472.8	0	0	0
1	0	0	172.1	172.1
2	0	0	17.3	17.3
3	0	0	17.9	17.9
4	0	0	20.6	20.6
5	0	11.2	22.8	34.0
6	0	0	25.4	25.4
7	0	0	28.1	28.1
8	0	0	30.9	30.9
9	0	0	33.3	33.3
10	0	18.0	36.0	54.0
11	0	0	34.8	34.8
12	0	0	43.6	43.6
13	0	0	48.1	48.1
14	0	0	52.8	52.8
15	0	29.0	58.2	87.2
16	0	0	64.0	64.0
17	0	0	70.3	70.3
18	0	0	77.4	77.4
19	0	0	85.1	85.1
20	0	0	(1032.4)	(1032.4)

Tabla 4-10

Flujo Neto de Fondos --- en millones de soles

AÑO	Total Inversión	Utilidad Neta	Depreciación	Flujo Neto de Fondos
-1	(315.2)	0.0	0.0	(315.2)
0	(472.8)	0.0	0.0	(472.8)
1	(172.1)	(10.2)	78.8	(103.5)
2	(17.3)	5.4	78.8	66.9
3	(17.9)	10.5	78.8	71.4
4	(20.6)	22.7	78.8	80.9
5	(34.0)	36.2	78.8	81.0
6	(25.4)	52.4	78.8	105.8
7	(28.1)	71.8	78.8	122.5
8	(30.9)	93.5	78.8	141.4
9	(33.3)	112.3	78.8	157.8
10	(54.0)	129.7	78.8	154.5
11	(34.8)	192.2	0.0	157.4
12	(43.6)	213.5	0.0	169.9
13	(48.1)	236.7	0.0	188.6
14	(52.8)	262.4	0.0	209.6
15	(87.2)	290.5	0.0	203.3
16	(64.0)	321.5	0.0	257.5
17	(70.3)	355.5	0.0	285.2
18	(77.4)	393.1	0.0	315.7
19	(85.1)	434.3	0.0	349.2
20	1032.4	479.6	0.0	1512.0

Valor DCF ----- 12.9 % anual .

Plazo de recuperación ----- 9.41 años .

4.8. Evaluación de la Rentabilidad del Proyecto

4.8.1. Valor DCF

El valor del flujo de caja descontado (Discounted Cash Flow) a una tasa de conversión a valor presente da una idea de la rentabilidad de un proyecto, y en el caso particular en el que la suma de estos valores sea cero se tiene que la tasa a la que esto ocurre se conoce como valor DCF y se emplea corrientemente para evaluar y comparar proyectos en lo que respecta a su rentabilidad. El factor que se aplica para corregir a valor presente se determina mediante la fórmula

$$FVP = (1 + i)^{-n}$$

en la que i --- tasa de interés expresada como fracción decimal.

n --- número de años entre el año base y el considera

En el presente estudio se han llevado todos los valores del FNF a valor presente al inicio del año 1, por lo tanto el valor del año anterior al año 1 no se corrige ó lo que equivale a hacer $n=0$ en la fórmula del FVP; por esta razón se considera año cero a este año y análogamente año -1 al anterior a este. El procedimiento de evaluar i , para el cual la suma del FNF descontado es cero se lleva a cabo por tanteos.

En este caso el valor DCF es 12.9 % anual, lo que representa que el proyecto es rentable debido a que el valor DCF para que un proyecto

sea considerado rentable en el Perú debe ser mayor de 12 .

Además debe notarse que es un valor DCF para el caso de inversión con recursos propios , lo que no es lo usual ; una inversión financiada podría dar un valor DCF entre 14 y 16 % de acuerdo al tipo y condiciones de financiamiento que se apliquen . En general la experiencia señala que las inversiones financiadas son más rentables que las no financiadas .

4.8.2. plazo de recuperación

Es el tiempo en el cual el FNF sin descontar se hace cero , lo que equivale a la recuperación de la inversión total mediante las utilidades y la depreciación .

En el estudio el plazo de recuperación es 9.41 años (contados desde el inicio de las operaciones) . Este es un plazo algo extenso desde que la depreciación se lleva a cabo linealmente a 10 años , sin embargo debe notarse que el valor del capital de trabajo es bastante grande frente al total de la inversión fija (y que incluso el valor a recuperar en el año 20 es casi 50 % mayor) lo que influye en que el plazo de recuperación sea largo .

BIBLIOGRAFIA

- (1) Principios de Química Orgánica
T. A. Geissman 1966 cap.12 pg. 331
- (2) Química Orgánica Elemental Moderna
Celsi - Jacobucci 1964 cap.18 pg. 261
- (3) Encyclopedia of Chemical Technology
Kirk - Othmer 2da. Ed. pg. 337-340
- (4) The Petroleum Chemicals Industry
R. Goldstein - L. Maddams 1967 cap. 20 pg. 424-426
- (5) Química Orgánica Superior
L. Fieser - M. Fieser 1962 pg. 2127
- (6) Ref (4) cap. 20 pg. 427-429
- (7) Ref (3) vol.1 pg. 340 y siguientes
- (8) The Petrochemical Industry : Market and Economics
A. Hahn 1970 cap. 6 pg. 333
- (9) Produit finis issus de la Petrochimie
Institut Français du Petrole 1966 cap. II-B pg. 132
- (10) Acrylonitrile : How , Where , Who -- future
Hydrocarbon Processing --- ene. 71 pg. 115
- (11) ref (10) pg. 116
- (12) ref (5) vol.2 cap. 39 pg. 2024
- (13) ref (8) cap. 6 pg. 335
- (14) Anuarios de Importaciones de productos químicos
Sociedad Estadística del Ministerio de Comercio .

- (15) Propuesta de la Junta sobre el Programa Sectorial de Desarrollo
de la Industria Petroquímica marzo 1974
Acuerdo de Cartagena pg. 46-47
- (16) Ref (15) Anexos pg. 11-16 y 23-29
- (17) 1973 Petrochemical Handbook
Hydrocarbon Processing --- nov. 73 pg. 99
- (18) World-wide NPI Construction Boxscore
Hydrocarbon Processing --- feb. 74
- (19) New Acrylo Process for Ohio Standard
Petroleum Refiner --- jul. 59 pg. 264-268
- (20) Ref (4) cap. 11 pg. 209-210
- (21) New Data on OHIO's Acrylo Process
Hydrocarbon Processing & Petroleum Refiner --- nov. 62 pg. 187
- (22) Estudios de Mercado y Preinversión para Productos petroquímicos
por producir en el Perú vol. III
Japan Gasoline Co., Ltd. 1971 pg. 214-215
- (23) Ref (21) pg. 188
- (24) Termodinámica de algunas reacciones petroquímicas
Revista del Instituto Mexicano del Petróleo --- ene. 73 pg. 52-59
- (25) Apuntes del curso de Cinética Química y Diseño de Reactores dictado
por el Dr. E. Mogollón
L. Dancuart UNI - 1973 - 2
- (26) Chemical Reaction Engineering 1964
O. Levenspiel cap. 9 pg. 295-296

(27) Ref (22)	Vol.III	pg.216-217
(28) Ref (21)		pg.189-190
(29) 1963 Petrochemical Handbook		
Hydrocarbon Processing --- nov.63		pg.139
(30) Ref (10)		pg.110-111
(31) Ref (22)	Vol.III	pg.220
(32) Ref (22)	Vol.III	pg.223-224
(33) Plant costs zoom		
Chemical Engineering --- jun.24/74		pg.136-137
(34) Chemical Marketing Report --- mar 10 ,mar 17 /1975 .		

LJK/ldk .