



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

92
Jey.

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

"ESTUDIO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA
PLANTA DE POLITETRAFLUOROETILENO
Y SU MONOMERO"

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A N :

MOLINA RAMIREZ GRACIA KARINA

MUÑIZ VARGAS ADRIANA JUDITH



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

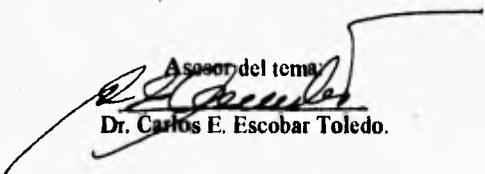
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente:	Prof.: Eduardo Rojo y de Regil
Vocal.:	Prof.: Carlos Escobar Toledo
Secretario:	Prof.: Ramón Amaud Huerta
1er. Suplente:	Prof.: Amando José Padilla Ramírez
2do. Suplente:	Prof.: Marco Antonio Uresti Maldonado

Sitio donde se desarrolló el tema. Departamento de Administración Industrial de la Facultad de Química.

Asesor del tema

Dr. Carlos E. Escobar Toledo.

Sustentantes:

Molina Ramírez Gracia Karina



Muñiz Vargas Adriana J.



A mis padres, por ser el ejemplo a seguir en la
lucha por obtener lo que quiero y apoyarme
en esa grandiosa experiencia. Los quiero y admiro.

A mis hermanos, Mario, Claudia y Carlos
porque de cada uno de ustedes he
aprendido muchas cosas buenas, pero
sobretudo la unidad, el apoyo y el cariño.

A las familias **Vargas y Muñiz**.

A mi abuelo, porque de tí aprendí
la alegría de vivir.

A Conchita porque siempre has estado conmigo,
en las buenas y en las malas. Gracias por ser mi amiga.

A Karina, por ser mi amiga y poder compartir
y lograr esta gran experiencia, lo que me dió la
oportunidad de confiar y creer en tí que eres una
persona con la que de verdad puedo contar. Gracias.

A todos mis amigos que siempre han estado presentes
en mi vida: Tere, Oli, Toña, Rocío, Karime, Sara, Aída,
Ana Laura, Irma Z., Gaby, Mary Carmen, Clara, Taniveth,
Constantino, Iván, Andrés, Masahiro, Alfredo, Carlos, Jorge,
Javo, Alejandro, Memo.

A tí Moisés, porque aunque ya no estés presente
físicamente, lo estás en mi corazón y en mi pensamiento.
Siempre te recordaré con cariño.

Adriana.

A mis padres por todo su amor
y apoyo en todos mis proyectos.
Espero que estén tan orgullosos
de mí, como yo de ustedes.
Los amo.

A mi hermana Ruth por
ayudarme en todo lo que he
necesitado y por tenerme tanta
paciencia (casi siempre).

A mis hermanos Adriana y Alejandro
por estar siempre ahí cuando los
necesito, y a mi adorada **nena Petel**
por hacerme la vida más linda.

A mis abuelos, tíos, primos,
y a toda mi amada familia.

A Horacio Flores. Siempre has sido
una persona especial, tu sabes
lo importante que eres para mí.
Gracias por tu cariño incondicional.

A mi compañera de tesis
Adriana Muñoz por compartir
conmigo una aventura más
y aguantarme mis ataques
neuróticos. Eres una gran amiga.

A mis queridos amigos: Yadira, Diana,
Liliana, Fernando, Pablo y Ernesto.

Karina

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la fuerza para cumplir uno de de nuestros mayores sueños.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrimos sus puertas.

A la Facultad de Química por permitimos ser parte de ella.

A nuestros Profesores por todas las enseñanzas que nos transmitieron.

Al Departamento de Administración Industrial de la Facultad de Química por todas las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis.

Al H. Jurado.

Al Dr. Carlos Escobar Toledo por darnos la oportunidad de ser parte de este proyecto.

A Marco Vázquez Frias, aunque ya no estés aquí, tú eres la luz que nos hará continuar nuestro camino. Siempre estás en nuestro corazón.

A Horacio Flores Sandoval por tu ayuda incondicional y por demostramos lo maravilloso que es la amistad. Eres una persona muy valiosa para nosotras.

A Pedro Vázquez "el Brother", no es necesario que te digamos cuanto te queremos, tú lo sabes bien.

A Jaime y Humberto Díaz, por abrimos las puertas de su casa y brindamos su amistad y confianza.

A Óscar Gutiérrez S. porque, independientemente de la gran ayuda que nos brindaste para realizar esta tesis, nos diste la oportunidad de conocerte; eres un gran amigo.

A la Fam. Flores Sandoval por hacernos sentir como en casa.

A Gloria Pombo por todos los consejos que nos dió, tanto para nuestra vida personal, como profesional.

A Rogelio Hernández, gracias por tu ayuda desinteresada.

A Gumaro por estar siempre en la mejor disposición de ayudarnos.

A nuestros amigos: Johnny, Toño, Memo, Federico, Alberto, Edmundo, Pedro, Max, Erich, José Ramón, América, Conchita, Gaby, Ceci, Arlette y Gina.

“ En un sentido amplio, no existen los que se llaman hechos triviales. Una cadena no es más fuerte que su eslabón más débil, y todos los datos encajan en alguna parte del gran esquema de las cosas. Un detalle aparentemente sin importancia puede adquirirla en manos de un investigador o de un científico ”.

G. Stimpson.

ÍNDICE

	Página.
INTRODUCCIÓN	1
I. Marco de referencia.	1
II. Objetivo	5
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.	6
1.1. Fluoropolímeros	9
1.2. Politetrafluoroetileno	11
1.2.1. Descripción e Importancia	11
1.2.2. Propiedades	15
1.2.3. Usos	20
1.2.4. Material sustituto	28
1.3. Principales productores de fluoropolímeros en el mundo	30
1.3.1. Estados Unidos de América.	30
1.3.2. Europa.	32
1.3.3. Japón	34
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE MERCADO.	36
2.1. Situación mundial de los fluoropolímeros	36
2.2. Situación en Estados Unidos de América.	37
2.2.1. Balanza comercial	37
2.2.2. Producción y ventas.	38
2.3. Situación en México	40

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS ECONÓMICO	43
3.1. Antecedentes	43
3.2. El papel de los pronósticos en la Planeación Estratégica.	46
3.3. Importancia de los pronósticos y la Planeación Estratégica en la estructura organizacional	49
3.4. Análisis de regresión simple	52
3.4.1. Resultados de la regresión simple	54
3.5. Análisis econométrico utilizando regresión múltiple.	61
3.5.1. Resultados del modelo econométrico.	65
3.6. Punto de equilibrio	66
3.7. Justificación de la capacidad de la planta	67
CAPÍTULO 4. RUTA TECNOLÓGICA	69
4.1. Ruta tecnológica para el PTFE	69
4.1.1. Reacciones principales	69
4.1.2. Esquema de la ruta tecnológica	70
4.2. Materias primas	71
4.2.1. Clorometano	71
4.2.2. Clorodifluorometano	72
4.3. Costos de materias primas	73
4.3.1. Cloración térmica del metano.	73
4.3.2. Clorometanos de metanol y cloro	74
4.3.3. Clorodifluorometano	75

4.4.	Valor agregado de la cadena	75
4.5.	Análisis de factibilidad	77
4.5.1.	Método del la Tasa Interna de Recuperación (TIR)	77
4.5.2.	Método del Valor Presente Neto (VPN)	82
CAPÍTULO 5. INGENIERÍA BÁSICA.		86
5.1.	Tetrafluoroetileno	87
5.1.1.	Descripción del proceso	87
5.2.	Politetrafluoroetileno	98
5.2.1.	Descripción del proceso	98
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		109

ANEXOS.

- Anexo A. Estudio sobre *el cable y alambre plenum*.
- Anexo B. Resultados del análisis de regresión múltiple.
- Anexo C. Resultados de la Tasa Interna de Recuperación.
- Anexo D. Lista de equipo para el proceso del TFE y PTFE.
- Anexo E. Balance de materia para el TFE y PTFE.
- Anexo F. Diagrama de bloques para el TFE y PTFE.
- Anexo G. Diagrama de flujo para el TFE y PTFE.

GLOSARIO.

BIBLIOGRAFÍA.

INTRODUCCIÓN

1.1 MARCO DE REFERENCIA

La presente tesis se enmarca en el proyecto de investigación denominado "Perspectivas de la Industria Petroquímica en México", que se está desarrollando en esta Facultad de Química ^(a) ⁽¹⁷⁾.

^(a) Este proyecto está relacionado estrechamente con el realizado para la DGAPA "Optimización de las Rutas y Procesos Tecnológicos de la Industria Petroquímica en México" -IN308191, y con la tesis de posgrado (maestría en Ingeniería Química) que se encuentra en su última etapa de desarrollo por el Ing. Fernando de Jesús Rodríguez Rivera con el tema: "Planeación de la Industria Petroquímica de México".

⁽¹⁷⁾ Escobar, T. C. Sistema de modelos para la planeación de la industria petroquímica en México.

El proyecto al que se refiere tiene varios antecedentes. La intención no es repetir los numerosos trabajos que sobre este aspecto se han publicado. En la bibliografía, las referencias,⁽¹⁸⁾,⁽¹⁹⁾,⁽²⁰⁾, explican en forma detallada los alcances y la metodología que se ha seguido.

Sin embargo, se quiere expresar el principal objetivo que puede enunciarse como sigue:

- "Desarrollar una metodología útil para la planeación estratégica de la Industria Petroquímica (IPQ) Mexicana a manera de definir los procedimientos que permiten anticipar oportunidades y establecer estrategias para su futuro desarrollo y localizar problemas dentro de su actual estructura, con una perspectiva de conjunto, por cadena y rutas tecnológicas de producción, para la toma de decisiones en el largo plazo, con un horizonte de planeación (IP) que cubre hasta el año 2015."

De acuerdo con este objetivo, el futuro comportamiento de la IPQ se ha analizado a través de un conjunto de variables que incluyen el desarrollo de procesos desde el punto de vista químico, tecnológico, económico y energético.

Por otra parte, debido a las interrelaciones existentes entre estas variables fue necesario construir un conjunto de modelos que las representen, utilizando para ello, como herramienta, un procedimiento computacional⁽¹⁸⁾.

La IPQ, por otra parte, es una compleja red formada con un gran número de cadenas correlacionadas que satisfacen la demanda de los productos finales de esta industria: materiales poliméricos, fibras y bales sintéticos, fertilizantes y productos químicos especializados. La red de procesos, tiene como punto de partida los productos obtenidos de

⁽¹⁸⁾ Escobar, T. C. Las relaciones entre la política energética y el desarrollo industrial: un modelo de simulación para planificar la industria petroquímica en México

⁽¹⁹⁾ Escobar, T. C. Las rutas tecnológicas de uso eficiente de energía en la industria petroquímica en México

⁽²⁰⁾ Escobar, T. C. Optimización de las rutas y procesos tecnológicos de la industria petroquímica en México

la refinación del petróleo y del procesamiento del gas natural. De esta manera, un producto intermedio puede ser producido a través de diferentes materias primas, mediante diferentes procesos tecnológicos, inclusive partiendo de distintos conjuntos de materias primas. El número de combinaciones de los procesos que parten de los productos básicos hasta los finales es muy grande, lo que conlleva elegir el mejor conjunto de proyectos de desarrollo para la IPQ desde una óptica integral, tomando a la industria como un todo y no únicamente desde la perspectiva particular de cada uno, lo cual hace compleja la selección.

De acuerdo con la metodología, una vez determinadas las mejores estructuras de la IPQ, tomando en cuenta la demanda de los productos finales para inducirla de los básicos y las capacidades de producción internacionalmente competitivas, se busca obtener los productos con mayor valor agregado en la cadena de producción correspondiente.

Dentro de la "cartera" de proyectos obtenidos en esta metodología, se encontró al que se refiere la presente tesis, el POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE) y su correspondiente monómero. Por ello, el objetivo que se ha propuesto en ésta es la factibilidad técnica y económica de producir este importante polímero, ahora a nivel de proyecto.

La tesis se compone de los siguientes capítulos. Como continuación de la presente introducción se da a conocer, en el Capítulo 1, los antecedentes de los fluoropolímeros, en particular del PTFE, y describiendo su importancia, propiedades físicas y químicas, usos y el material sustituto contra el cual podría competir.

En el Capítulo 2 se describe el mercado del producto en cuanto a su oferta y demanda, tanto a nivel mundial (E.U., Europa Occidental, Japón y otras regiones), como a nivel nacional.

En el Capítulo 3, mediante un análisis econométrico, se determina la demanda del producto y se discute la importancia de los modelos econométricos, únicamente como

marco de referencia, para concluir con la capacidad de la planta que podría construirse, tratando de alcanzar el nivel de producción de una planta competitiva a nivel mundial.

En el Capítulo 4 se analiza el PTFE por ruta tecnológica para conocer su valor agregado a través de las materias primas que parten del metano y del cloro, describiendo además los procesos y costos de manufactura y terminando con el análisis de factibilidad.

En el Capítulo 5 se procede a dar los lineamientos principales de la ingeniería básica, tanto para el tetrafluoroetileno como para el PTFE, describiendo en detalle los procesos de manufactura y los balances de materia.

Por último, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

OBJETIVO

Se analiza la posibilidad de instalar una planta de Politetrafluoroetileno y su monómero en México tomando como base la demanda que tiene, tanto en el mundo, como en el país.

Se hace un estudio de sus propiedades, aplicaciones, así como del mercado en donde se desarrolla para establecer su importancia en la industria; además de los beneficios que podría traer a la economía mexicana.

Por lo que se hace un estudio de factibilidad aplicando dos métodos de análisis para determinar si el proyecto es económicamente aceptable.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

La mayoría de los objetos que nos rodean y que utilizamos en la vida cotidiana están hechos o tienen partes elaboradas con algunos de estos productos: plásticos, hule, pinturas y fibras sintéticas; y nos parece tan familiar su existencia que no nos ponemos a pensar cómo llegaron a existir ni de qué están formados. Todos estos objetos tienen en común el hecho de estar constituidos por *polímeros*.

El término polímero viene del griego *polis*, muchos; y *meros*, parte principal^(a). Básicamente un polímero es una molécula gigante (macromolécula), constituida a partir de unidades químicas simples, llamadas *monómeros*, que se repiten a lo largo de la molécula^(b).

^(a) Lipscomb, 1989.

^(b) Bimaller, 1971.

Los polímeros o macromoléculas naturales han existido desde el surgimiento de la vida en la Tierra. Algunos carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos, así como el caucho y otras gomas naturales son polímeros. De hecho, una buena parte de nuestro cuerpo está constituido por ellos y, más aún, los procesos a partir de los cuales surge la vida dependen de los cambios químicos que sufren los ácidos nucleicos al momento de formarse y reorganizarse.

El primer polímero sintético fue obtenido por el inventor norteamericano John Wesley Hyatt (1837-1920), al participar en un concurso en el que se premiaría al que encontrara un sustituto del marfil para las bolas de billar. Empezó a trabajar con la pirroxilina. La disolvió en una mezcla de alcohol y éter y le añadió alcanfor para hacerla más firme y maleable. Hacia 1869 había formado el primer polímero sintético, al cual llamó *celuloide*, que le acreditó el premio (Asimov, 1989).

Posteriormente, partiendo del hecho de que la pirroxilina pudo moldearse en forma de esferas, se pensó que podía dársele otras formas. En 1884, el químico Luis Marie Hilaire Berignaud, Conde de Chardonnet (1839-1924), obtuvo la primera fibra sintética a la que denominó *rayón*; y el inventor americano George Eastman (1854-1932), la primera película de celuloide que se empezó a utilizar en fotografía. La carrera por descubrir nuevos materiales comenzó entonces y continúa hasta nuestros días.

La importancia de los polímeros radica en la gran diversidad de propiedades que presentan. Algunos polímeros son rígidos, otros flexibles y pueden moldearse. Algunos son estables a altas temperaturas, otros no. Algunos son duros, otros blandos. Existen materiales que presentan propiedades hidrofóbicas, por lo que se usan como impermeables. Algunos se usan como aislantes, etc. De tal forma que se pueden sintetizar materiales para una gran variedad y cantidad de usos prácticos. Así pues, no es difícil explicarse la enorme importancia tecnológica de estos materiales y el por qué los polímeros ocupan un lugar, por el momento insustituible, en la vida diaria de todo ser humano.

Esta gran diversidad se puede explicar al analizar las propiedades de estas moléculas. Las propiedades químicas son muy similares a las del monómero que se utiliza como unidad básica. Las propiedades físicas, por el contrario, difieren de las del monómero empleado, debido a que, como la molécula del polímero es muy grande, existen interacciones electrostáticas entre las unidades de una misma cadena polimérica (intramoleculares) y entre las diferentes cadenas (intermoleculares), factores muy importantes que determinan las propiedades del polímero.

Existen muchas formas de clasificar a los polímeros. Una de éstas toma en cuenta la forma como están acomodadas las cadenas poliméricas y los divide en amorfos, en los que las cadenas se distribuyen de manera azarosa y desordenada; y cristalinos, cuyo arreglo sigue una estructura bien definida. Otra clasificación se basa en el comportamiento térmico de los polímeros y los separa en termoplásticos y termofijos. Los primeros pueden ser fundidos cuantas veces se quiera para volver a moldearlos, ya que el proceso de fusión no altera sus propiedades; mientras que los segundos se descomponen con el calentamiento debido a que las interacciones electrostáticas son tan fuertes que exceden en magnitud a las de los enlaces de la molécula. Una tercera clasificación se relaciona con el tipo de reacción involucrada en la síntesis del polímero y que los distingue en polímeros de adición y polímeros por pasos⁽²⁴⁾.

Dentro de la clasificación de polímeros existe una clase de mucha importancia debido a su gran número de aplicaciones: los llamados *Fluoropolímeros*, que presentan en su estructura flúor en lugar de hidrógeno. Esta característica les confiere propiedades inusuales, a diferencia de otros polímeros, permitiéndoles ser utilizados en diferentes tipos de industrias ya que su rango de aplicación va desde el *camping* hasta aparatos quirúrgicos sofisticados.

En este grupo de fluoropolímeros hay una gran gama de compuestos, los cuales cubren diferentes necesidades en distintos campos, pero uno de los más importantes y del

⁽²⁴⁾ Gamboa, S. A. *Polímeros*. 1995.

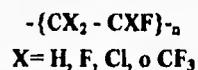
que se hablará en este trabajo es el Politetrafluoroetileno que presenta características tales que lo hacen el más utilizado.

1.1. FLUOROPOLÍMEROS

Los fluoropolímeros se dividen en dos subclases: (1) los polímeros fluorocarbonados^(c) y (2) todos los demás que están hechos de monómeros y sistemas de comonómeros que contienen hidrógeno, cloro o ambos, junto con suficiente cloro que contribuye significativamente a las propiedades y comportamiento del polímero. Actualmente los términos fluorocarbono y polímero fluorocarbonado se usan de manera inapropiada para incluir todos los polímeros que contienen flúor.

Las resinas fluorocarbonadas, son polímeros de poliolefinas en los cuales algunos o todos los átomos de hidrógenos unidos a la cadena de carbonos son reemplazados por grupos fluoruro o alquilfluorados.

Los fluoropolímeros son fluorinados selectivamente análogos a las poliolefinas (polietileno). Como tales, las propiedades de los fluoropolímeros individuales difieren dependiendo de la aparición de un fluoruro en lugar de un hidrógeno al igual que del arreglo espacial de los fluoruros o hidrógenos y otros sustituyentes (cloro o grupos alcoxi) a lo largo de la cadena polimérica. Los fluoropolímeros análogos al polietileno tienen la fórmula general:



^(c) Aquellos que se hacen de perfluoromonómeros.

Aunque es teóricamente posible hacer una gran variedad de polímeros fluorinados, solo nueve son comercialmente importantes. En la siguiente tabla se muestran estos polímeros, además de los monómeros usados en su preparación

Tabla 1.1.
Principales Fluoropolímeros.

MONÓMERO	COMONÓMERO	POLIMEROS	ABREVIACIÓN
Tetrafluoroetileno	-	Politetrafluoroetileno	PTFE
Tetrafluoroetileno	Hexafluoropropileno	Etileno-propileno fluorado	FEP
Tetrafluoroetileno	Etileno	Poli (etileno-tetrafluoroetileno)	ETFE
Tetrafluoroetileno	Perfluoropropil vinil eter	Perfluoroalcoxi	PFA
Clorotrifluoroetileno	fluoruro de vinilideno	Poli (clorotrifluoroetileno-fluoruro de vinilideno)	CTFE-VDF
Clorotrifluoroetileno	-	Policlorotrifluoroetileno	PCTFE
Clorotrifluoroetileno	Etileno	Poli (etileno-clorotrifluoroetileno)	E-CTFE
Fluoruro de vinilideno	-	Fluoruro de Polivinilideno	PVDF
Fluoruro de vinyl	-	Fluoruro de Polivinyl	PVF

Fuente (8). Chemical economics handbook. 1992.

La familia de los fluoropolímeros termoplásticos está encabezada por el Politetrafluoroetileno (PTFE).

Las propiedades de los fluoropolímeros varían de acuerdo con el contenido de flúor y con su distribución en la molécula. El enlace C-F es uno de los enlaces orgánicos más fuertes. Al sustituir el flúor por el hidrógeno en un polímero orgánico, generalmente aumenta la estabilidad química y de oxidación, resistencia a las condiciones del medio ambiente y punto de fusión. La presencia del flúor reduce la inflamabilidad, solubilidad en hidrocarburos, así como el coeficiente de fricción.

Los fluoropolímeros tienen una gran utilidad en aplicaciones eléctricas como aislantes, circuitos flexibles y aparatos piezoeléctricos^(d), recubrimientos químicamente

^(d) Que posee la propiedad de generar una fuerza electromotriz cuando se le somete a la acción de una fuerza mecánica. Que produce una fuerza mecánica cuando se le aplica una tensión eléctrica.

resistentes, superficies antiadherentes, estructuras arquitectónicas (domos), artículos de laboratorio, intercambiadores de calor, estructuras repelentes al agua, válvulas para corazón y otros artículos para prótesis, etc.

1.2. POLITETRAFLUOROETILENO.

1.2.1. DESCRIPCIÓN E IMPORTANCIA.

El Politetrafluoroetileno (PTFE) fue descubierto en 1938 cuando el Dr. Roy J. Plunkett y sus asistentes trabajando en nuevos refrigerantes no tóxicos y no inflamables, en E. I. DuPont de Nemours y Co., encontraron que un cilindro, el cual se suponía que contenía Tetrafluoroetileno (TFE), estaba vacío. Después de abrir el cilindro descubrieron que el interior estaba cubierto con un polvo blanco. La polimerización del TFE tuvo lugar. El resultado fue el Politetrafluoroetileno (PTFE) o Teflon[®] ⁽⁴²⁾.

La compañía experimentó con el polímero y encontró que era virtualmente inerte a todos los ácidos, bases y solventes conocidos en ese tiempo. También encontró que este material era resistente a altas temperaturas y tenía el coeficiente de fricción más bajo que cualquier sólido.

El Politetrafluoroetileno (PTFE) es un polímero de cadena recta de Tetrafluoroetileno (TFE), y se produce por la polimerización de la cadena vía radical libre de este monómero, con una estructura lineal de unidades repetitivas -CF₂-CF₂-, siendo su fórmula general la siguiente:



⁽⁴¹⁾ Nombre comercial del fluoropolímero fabricado por Du Pont.

⁽⁴²⁾ Riegel's handbook of industrial chemistry. 1992

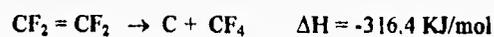
Tiene un punto de fusión cristalina alto (327°C), muy alta viscosidad (10-1000 GPas a 380°C), su masa molecular es muy alta (10e6-10e7). Como ya se mencionó antes, el PTFE es insoluble en todos los solventes conocidos y resiste el ataque de muchas sustancias químicas⁽¹⁾. Tiene propiedades antiestáticas y antifriccionantes muy inusuales.

POLIMERIZACIÓN.

En términos de procesamiento hay dos clases generales de fluoropolímeros: los que no pueden ser procesados por las técnicas tradicionales⁽²⁾ -como el PTFE-, y aquellos en los que sí es posible⁽³⁾.

El PTFE tiene una alta viscosidad de fluido (10¹⁰ - 10¹¹ poises a 350°C). Nunca llega a ser fluido, pero a temperaturas por encima de los 350°C (620°F) se convierte en gel y es precisamente por esta característica que no puede ser tratado por los métodos usuales.

El TFE debe ser polimerizado con mucho cuidado para evitar descomposición térmica del monómero. Puede descomponerse de manera explosiva a carbón y tetrafluoruro de carbono.



Se polimeriza en medio acuoso por dos diferentes procesos.

a) *Suspensión*: En este proceso, el vapor de TFE se alimenta a un reactor calentado que contiene ácido débil, surfactantes, agua desionizada y un radical libre como iniciador. Debido a que la reacción de polimerización procede, se agita rápidamente con un agitador grande de tijeras y el vapor de TFE se adiciona para mantener la presión⁽⁴⁾. El calor

⁽¹⁾ Se disuelve en algunos líquidos fluorinados como los kerosenos perfluorinados a temperaturas cercanas al punto de fusión del polímero.

⁽²⁾ moldeo por compresión y por inyección.

⁽³⁾ Rowan, H.I. Thermoplastic fluoropolymers.

⁽⁴⁾ En contraste con el proceso de emulsión, se usa agitación vigorosa en lugar de un agente dispersante.

exotérmico de la reacción se remueve por circulación de agua de enfriamiento a través del reactor enchaquetado. Después de varias horas se detiene la alimentación del TFE, el reactor se ventea y se purga con nitrógeno y los contenidos remanentes del reactor se descargan a través de un filtro (para remover el polímero adherido o coagulado) y un recipiente enfriador. Los aglomerados de las resinas se secan y se sujetan a operaciones adicionales de acabado para convertir el polímero a tres tipos de productos: resina granular, polvo fino y dispersión acuosa. Cada uno de estos tipos tiene una forma y tamaño de partícula diferentes.

b) *Emulsión*: En este proceso el vapor de TFE se alimenta al reactor calentado que contiene un ácido débil, surfactantes, cera parafínica y agua desionizada. Se agrega una solución iniciadora de radical libre y, como la polimerización prosigue, se agrega TFE adicional para mantener la presión. El calor exotérmico de la reacción se remueve por circulación de agua de enfriamiento a través del reactor enchaquetado⁽¹⁾. Después de varias horas se detienen las alimentaciones, el reactor se ventea y se purga con nitrógeno y la materia remanente en el recipiente se transfiere a un recipiente de enfriamiento. La cera parafínica se remueve y la dispersión del polímero es total o parcialmente transferida a otra operación de coagulación o una operación de concentración de dispersión. En la operación de coagulación, las partículas suspendidas se aglomeran, se separan y secan para hacer polvo fino que es empaquetado para venta. En la operación de concentración de dispersión se obtiene a un 60 % en peso, que se empaqueta para venta.

Como se describió anteriormente, el Politetrafluoroetileno se puede producir en tres formas:

- *Resinas Granulares*. Que se prepara por polimerización por suspensión. Las técnicas de moldeo usadas para estas resinas son similares a las de las cerámicas: simple compresión de hojas, moldeo automático de formas simples repetitivas y moldeo aislado para muchas

⁽¹⁾ Debido al peligro de una explosión, la polimerización y algunas otras operaciones que involucran el transporte de TFE se conducen a través de barricadas.

figuras complicadas. Todos los métodos de moldeo para resinas granulares involucran la compresión del polvo, en un molde, a una presión de entre 1.0 a 3.5 ton/plg² (16 a 54 Mpa) a una temperatura ambiente o hasta 100°C, seguida por una sinterización^(j) a una temperatura por encima del punto de fusión (típicamente, alrededor de 370°C) y después un enfriamiento. El producto polimerizado consiste en partículas de formas irregulares, que pueden medir más de un milímetro y cuya superficie es más de 2m²/g que es 1700 veces lo observado en su superficie externa.

- Resinas de polvo fino. Se producen por la polimerización del TFE en la presencia de un agente dispersante (ej. perfluorooctanoato de amonio). El polímero es altamente cristalino y tiene capacidad de solubilizar al monómero, pero el polímero es insoluble en el monómero. El producto de dispersión no debe coagularse durante la polimerización, además de no estabilizarse para permitir la coagulación al final del ciclo de polimerización, y esto se logra con una agitación suave. El promedio de tamaño de partícula es de 0.2 μm y el área es de 12 m²/g y muestra una estructura muy poco porosa. Durante la fase de coagulación, el polímero que es impermeable flota en la superficie de donde se extrae y se seca.
- Dispersiones acuosas. Se utiliza el mismo proceso de polimerización que para las resinas de polvo fino. Las dispersiones crudas pueden polimerizarse para dar diferentes tamaños de partículas, donde el más común es de 0.2 μm.
- Rellenos para resinas. Se utilizan una gran variedad de rellenos por los fabricantes y procesadores de PTFE como fibra de vidrio, grafito, asbestos, sulfuro de molibdeno y bronce. Estos rellenos se pueden mezclar en seco con el polvo de PTFE antes de moldear o se pueden coagular con la dispersión para producir polvo fino relleno^(k).

^(j) Soldar o aglomerar metales o materiales plásticos pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión.

^(k) El relleno sirve para aumentar la resistencia al desgaste, incrementar la dureza o reducir la deformación del material.

1.2.2. PROPIEDADES DEL PTFE.

La sustitución del hidrógeno por flúor en los análogos al polietileno contribuye en gran medida a sus propiedades inusuales, incluyendo⁽¹⁾:

- Alto punto de fusión.
- Alta estabilidad térmica.
- Insolubilidad.
- Inerte al ataque químico.
- Bajo coeficiente de fricción.
- No adhesividad.
- Baja constante dieléctrica.
- Baja absorptividad de agua.
- Alta resistencia al medio ambiente.
- No inflamable.

Específicamente, las propiedades más importantes del PTFE son las siguientes:

A) *Físicas:* La estructura de la cadena de PTFE es tan inusual que es completamente lineal, y es tan fuerte como la del polietileno debido a que los átomos del flúor son tan grandes como los del hidrógeno.

El alto punto de fusión del PTFE (327°C) es debido al pequeño cambio de entropía que se produce durante la fusión. El enlace de C-F es de los más fuertes que hay. El punto de fusión del PTFE fundido una vez es de 327°C⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Chemical economics handbook. 1992.

⁽¹⁾ El primer punto de fusión del PTFE sin fundir es 342°C.

B) Mecánicas.

Tabla 1.2
Propiedades mecánicas de resinas de PTFE

Propiedad	Granular	Polvo fino	ASTM ^(m)
Resistencia a la tensión, MPa	7-28	18-24	D 638
Elongación, %	100-200	300-600	D 638
Módulo de elasticidad, MPa	350-630	280-630	D 747
Fuerza de flexión, MPa	no se rompe		D 790
Resistencia a la fatiga, J/m	160		D 256
Deformación por esfuerzo cortante a 1% de deformación, MPa	4.2		D 695
Dureza	50-65	50-65	D 224
Coefficiente de expansión térmica, K ⁻¹	12 E-5		D 696

Fuente (8) Chemical economics handbook, 1992.

Tabla 1.3
Propiedades mecánicas de resinas rellenas y no rellenas.

Propiedad	Resinas sin relleno	Resinas con relleno	
		25% vidrio	60% bronce
Densidad relativa	2.18	2.24	3.74
Resistencia a la tensión, MPa	28	18.00	14.00
Elongación, %	350	250.00	150.00
Resistencia al impacto, J/m	152	119.00	
Dureza	51	57.00	70.00
Factor de agotamiento, MPa ⁻¹	50.13	26.20	12.00
Coefficiente de fricción estático, 3.4 MPa.	0.08	0.13	0.10
Dinámico n = 900 n/s	0.01	-0.24	-0.22
Conductividad térmica, Mwm ⁻¹ K ⁻¹	0.24	0.45	0.46

Fuente (43). Rowan, H. Y. Thermoplastic fluoropolymers.

De la tabla anterior podemos observar el cambio que experimentan las propiedades mecánicas del PTFE al ser rellenas con fibra de vidrio y/o vidrio.

^(m) American Society for Testing Materials.

C) *Eléctricas.*

Tabla 1.4
Propiedades eléctricas de las resinas de PTFE

Propiedad	Granular	Polvo fino	ASTM
Constante dieléctrica, 60 Hz a 2 GHz.	2.1	2.1	D 150
Factor de disipación, 60 Hz a 2 GHz.	0.0003		D 150
Resistividad por volumen, Ω -cm.	> 10 E 18	>10 E 18	D 257
Resistividad por área, Ω /m ² .	>10 E 16		D 257
Fuerza dieléctrica, kV/mm.	23.60	23.60	D 149

Fuente (43). *idem.*

D) *Resistencia química.* Resistente al ataque de un gran número de sustancias químicas, incluyendo agua regia, ácido nítrico, cloro gaseoso, ácido clorosulfónico, ésteres orgánicos, cetonas y alcoholes. Los únicos materiales conocidos que atacan al PTFE son metales alcalinos, trifluoruro de cloro y flúor gaseoso a elevadas temperaturas y presiones. Algunos aceites altamente fluorados pueden disolver el PTFE cerca de su punto de fusión.

En la siguiente tabla se muestran las sustancias que, se ha probado son compatibles con el PTFE en experimentos realizados por encima de sus puntos de ebullición:

Tabla 1.5
Químicos y solventes compatibles con el PTFE

Acido acético	Dimetil éter	Metanol	Azufre
Anhidrido acético	Dimetil formamida	Metil metacrilato	Acido sulfúrico
Acetona	Di-isobutiladipato	Naftaleno	Tetrabromoetano
Acetofenona	Dimetil hidracina	Acido nítrico	Tetracloroetileno
Anhidrido acrílico	Dioxano	Nitrobenceno	Acido tricloroacético
Metacrilato acrílico	Acetato de etilo	2-nitro-butanol	Tricloroetileno
Cloruro de aluminio	Alcohol etílico	Nitrometano	Trietanolamina

Tabla 1.5. (continuación)
Químicos y solventes compatibles con el PTFE

Amoniaco líquido	Éter etílico	Tetróxido de nitrógeno	Metacrilato de vinilo
Cloruro de amonio	Hexoato etílico	2-nitro-2-metil propanol	Agua
Anilina	Bromuro de etileno	Alcohol n-octadecil	Xileno
Benzonitrilo	Etilénglicol	Aceites, animal y vegetal	Cloruro de zinc
Cloruro de benzoilo	Cloruro férrico	Ozono	Diethylcarbonato
Alcohol bencílico	Fosfato férrico	Percloro etileno	Ácido metacrílico
Bórax	Fluoronaftaleno	Pentacloro-benzamida	Cloruro estanoso
Ácido bórico	Fluoronitrobenceno	Perfluoroxileno	Dibutilftalato
Bromo	Formaldehído	Fenol	Metil etil cetona
Hidróxido de sodio	Peróxido de hidrógeno	Jabón y detergentes	Fierro
Butil acetato	Furano	Ácido ftálico	Ciclohexanona
Butil metacrilato	Gasolina	Pineno	Mercurio
Cloruro de calcio	Hexacloroetano	Poliacrilonitrilo	Peróxido de sodio
Disulfuro de carbono	Hexano	Acetato de potasio	Ciclohexano
etano	Hidracina	Hidróxido de potasio	Cloruro de magnesio
Cloro	Ácido clorhídrico	Permanganato de potasio	Hipoclorito de sodio
Cloroformo	Ácido fluorhídrico	Piridina	Ácido crómico

Fuente (43). Rowan, H.L. Thermoplastic fluoropolymers.

E) Resistencia a la inflamación. Es uno de los polímeros de mayor resistencia a la inflamación y no permite que haya una combustión en aire. Tiene un alto contenido de oxígeno (LOI) del 96%.

F) Resistencia al medio ambiente. Esta resistencia es notable, ya que a este material no lo afecta ningún tipo de clima.

G) Resistencia a la radiación. Cuando se expone a alta energía, ya sea de un haz de electrones o radiación gamma, el PTFE sufre una degradación paulatina hasta alcanzar la total.

En exposiciones de 10 E4 Gy (un Mrad) de radiación en aire, el PTFE pierde el 50% de su tensión. La radiación también afecta sus propiedades eléctricas: la resistividad disminuye, la constante dieléctrica aumenta.

H) Estabilidad térmica: Tiene una gran estabilidad térmica, tanto en aire como en nitrógeno, y no son medibles las velocidades de descomposición por debajo de 440°C, y estas velocidades son muy altas a temperaturas mayores a 540°C. Ocurre una descomposición térmica de primer orden en pirólisis de películas delgadas al vacío, donde el TFE empieza a formar el producto principal⁽⁶⁾.

Tabla 1.6.
Propiedades térmicas
Capacidad calorífica (kJ Kg⁻¹ K⁻¹)

Temperatura	Estado cristalino	Estado amorfo
10 K	1.228	1.228
100 K	19.37	19.37
200 K	34.47	35.59
300 K	45.09	51.42
400 K	53.81	59.24
500 K	61.62	66.05
600 K	67.58	69.37
605K	67.88	69.54
700 K	73.30	72.69

Fuente (43). Rowan, H.I. *Thermoplastic fluoropolymers*.

Tabla 1.7.
Otras propiedades térmicas.

Calor de combustión	2000 BTU/lb
Calor de formación	813 kJ mol ⁻¹
Calor de fusión	82 kJ Kg ⁻¹

Fuente (43). Rowan, H.I. *Thermoplastic fluoropolymers*.

Tabla 1.8.
Capacidad calorífica a diferentes presiones

Presión	Estado cristalino
0.455 MPa	132
1.82 MPa	60

Fuente (43). *idem*.

l) Densidad: 1524.5 (g/cm³)⁽⁶⁾.

⁽⁶⁾ Politetrafluoroetileno.

⁽⁶⁾ Después de fundirse y recristalizarse.

1.2.3. USOS.

GRANULAR:

El PTFE en forma granular se usa principalmente en la manufactura de formas moldeadas y partes mecánicas. Debido a que las resinas granulares tienen propiedades de flujo⁽⁶⁾ relativamente pobres, tienen que ser moldeadas o extruidas a baja presión. Se usan cuatro técnicas de fabricación: moldeo por compresión, extrusión por presión, moldeo por compresión automática y moldeo isoestático. La siguiente tabla presenta porcentajes (analizado en 1991) del consumo del PTFE granular por método de fabricación en E.U.A.

Tabla 1.9.
Consumo de resina granular de PTFE por método de fabricación en E.U.A. (1991).

Moldeo por compresión	55 %
Extrusión por presión	20 %
Moldeo por compresión automática	15 %
Moldeo isoestático	10 %
Total	100 %

Fuente (8): Chemical economics handbook, 1992.

Hay tres grados de resinas granulares: granulado, corte fino y presinterizado. La resina granulada se procesa usando técnicas automáticas semicontinuas y moldeo isoestático para producir grandes volúmenes de partes terminadas tales como anillos, empaques, sellos y secciones de tubos cilíndricos.

Las resinas de corte fino se procesan usando técnicas no automáticas o moldeo por compresión manual para producir bajos volúmenes de tamaño medio para un gran número de artículos semiterminados.

⁽⁶⁾ Debido a que a temperaturas ambiente son suspensiones.

Las resinas presinterizadas se fabrican usando procesos semicontinuos automáticos de extrusión por presión para rodillos largos, tuberías las cuales después se cortan y maquilan para una variedad de partes mecánicas.

Una gran cantidad de PTFE granular se combina con rellenos como fibra de vidrio, bronce, carbón o grafito. Los rellenos se usan como agrandadores, para incrementar su resistencia al deterioro o para adicionar color.

Otra área de gran interés es la combinación de esta resina con otro termoplástico especial. Desarrollado por ICI y comercializado bajo el nombre de Polycomp®, estos materiales incluyen combinaciones de PTFE con sulfuro de polifenileno, poliésteres aromáticos lineales^(p).

Durante años recientes estas combinaciones han sido aplicadas en pistones, anillos, empaques, sellos dinámicos, soportes y componentes para válvulas de asiento en diseños automotrices.

En la siguiente tabla se presenta el consumo estimado de resinas granulares en E.U.A.:

Tabla 1.10
Consumo de resina granular, por tipo, en E.U.A.
(miles de Ton.)

Con Relleno					
	Sin relleno	Resina virgen	Rellenos	Total	Total ^(p)
1985	3.9	0.81	0.22	1.04	4.9
1986	3.9	1.36	0.362	1.72	5.76
1987	4.31	1.5	0.4	1.90	6.21

^(p) Polímeros líquidos cristalinos.

Tabla 1.10 (continuación)
Consumo de resina granular, por tipo, en E.U.A.
(miles de Ton.)

Con Relleno					
	Sin relleno	Resina virgen	Rellenos	Total	Total⁽¹⁾
1988	4.53	1.72	0.4	2.13	6.66
1991	4.08	1.58	0.4	1.99	6.07
1996*	4.89	2.35	0.498	2.85	7.75

Fuente (8) *Chemical economics handbook*, 1992.

* Pronosticado.

Tasa media anual de crecimiento

1991-1996	3-4 %	8 %	-	7-8 %	5 %
-----------	-------	-----	---	-------	-----

I. Incluye el peso de los rellenos

En la tabla anterior las estadísticas para PTFE relleno están incompletas debido a que reflejan sólo ventas en el mercado comercial y no toman en cuenta cantidades significativas de PTFE virgen que están rellenas (compuestas) y que tienen usos específicos.

Procesos químicos: La mayoría de las partes a base de PTFE que manejan fluidos (ejemplos: válvulas y revestimientos de bombas, tubos sumergidos, fuelles de expansión, boquillas y componentes para válvulas de asiento), empaques rígidos, aparatos de laboratorio y empaques, se hacen de resinas granuladas. Algunos revestimientos para tanques de reactor y productos de laboratorio se fabrican por moldeo isoestático.

Otra de las aplicaciones importantes de este polímero es en sistemas de tuberías para el transporte de ácido sulfúrico.

Un estudio realizado recientemente por la compañía Dow Plastic-liner Piping Products presenta un cuadro comparativo de los diferentes materiales que se utilizan para el

transporte de este ácido, donde se puede observar que el PTFE es la mejor opción, ya que resiste altas concentraciones y temperaturas.

Tabla 1.11
Guía para la selección de tubería basada en la concentración de ácido sulfúrico y temperatura.

Fluido corrosivo	Temperaturas máximas (°C)			
	SARAN	PP	PVDF	PTFE
Ácido sulfúrico (10%)	125	225	250	450
Ácido sulfúrico (16%)	125	200	250	450
Ácido sulfúrico (30%)	75	200	250	450
Ácido sulfúrico (60%)	NR	200	250	450
Ácido sulfúrico (85%)	NR	175	200	450
Ácido sulfúrico (93%)	NR	NR	200	450
Ácido sulfúrico (96%)	NR	NR	175	450
Ácido sulfúrico (98%)	NR	NR	150	450
Ácido sulfuroso	75	175	200	450
Trióxido de azufre (líquido)	NR	NR	NR	450
Trióxido sulfúrico (gas húmedo)	NR	NR	NR	450
Ácido sulfúrico (fumig)	NR	NR	NR	450
Ácido sulfúrico (60% saturado con cloro)	NR	75	200	450

Fuente (12). *Users handbook for sulfuric acid piping systems*, 1995.

Materiales de Tuberías: SARAN - Resina de Cloruro de Polivinilideno

PP - Resina de Polipropileno

P VDF - Resina de Fluoruro de Polivinilideno

PTFE - Resina de Politetrafluoroetileno

NR. No recomendada

Mecánicas: La clave del PTFE en aplicaciones mecánicas son: sellos, anillos de pistón, cojinetes y secciones de tubos cilíndricos, son los cuales, muchas veces hechos de

rodillos, láminas y tubos o moldeados por compresión. Los sellos se usan comúnmente en la industria automotriz para radiadores, transmisiones y acondicionadores de aire.

La mayoría del PTFE relleno se usa para aplicaciones mecánicas. Aproximadamente el 75% de esta resina se consume en la fabricación de sellos, superficies para cojinetes y anillos para pistón. De ese 75%, cerca de la mitad se usa en la industria automotriz, el restante en usos industriales (ej. en compresores). El 25% restante de PTFE relleno se usa para otro tipo de aplicaciones. El gran crecimiento de esta resina está ligado con el aumento de los estándares de calidad de productores locales en plantas localizadas en E.U.A.

Eléctricas: La mayor aplicación del PTFE granular en el mercado eléctrico es en la fabricación de componentes eléctricos como conectores de cables, interruptores de circuitos y aislantes de resistencias. El PTFE granular no relleno también se usa en la fabricación de núcleos coaxiales, cables y cintas de aislar. Las cintas se usan para envolver cables y también para revestir cintas resistentes a la presión. Algo de esta resina se usa en impresión de tableros de circuitos, particularmente para aplicaciones especializadas de microondas donde la uniformidad de la constante dieléctrica del PTFE sobre el amplio intervalo de frecuencia es de importancia crítica.

POLVO FINO:

Eléctrica/Electrónica: Estas aplicaciones representan cerca del 45% de la demanda, en Estados Unidos de América, de la resina de polvo fino de PTFE. De esta manera, este material se utiliza en la manufactura de cintas, tubería y aislante de alambre, usando un proceso de extrusión de pasta para secciones de paredes delgadas. Este método de fabricación emplea un auxiliar en la extrusión ⁽⁴⁾ que, subsecuentemente, se remueve por calor. Excepto para cinta de sellado, la mayoría de los productos de PTFE extruídos deben ser sinterizados antes de ser usados.

⁽⁴⁾ Como aceite blanco de petróleo.

Alambre y cable no-automotriz: Una cantidad significativa de aislante de PTFE para cable y alambre se fabrica con polvo fino. Las mayores aplicaciones incluyen cable para aviones y naves militares, cable coaxial y cable para computadora.

Tubería no automotriz: Las aplicaciones en tubería no automotriz incluyen:

- Tubería de *spaghetti*⁽⁶⁾ : Se hacen para deslizarse sobre el alambre como una material eléctrico de aislamiento.
- Líneas de tubería sobretrenzada (reforzada): Se usan mangueras y tubos principalmente para aplicaciones en procesos químicos (ejemplo; transferencia química e intercambiadores de calor) y usos industriales.
- Tubería médica: Se usa para catéteres y para injertos vasculares (reemplazos arteriales) en procedimientos quirúrgicos como operaciones de *by-pass*.

Laminados textiles: Se hacen de membranas microfibrosas, un material muy ligero que aprovecha la capacidad de fibrilación del polvo fino del PTFE. La membrana delgada de PTFE contiene 9 billones de poros por in² y se usa para diferentes tejidos (nylon, poliéster, etc). Las láminas resultantes son a prueba de agua y protegen de la lluvia y el viento, permitiendo, al mismo tiempo, la transpiración del cuerpo. Los laminados se usan en ropa para deporte y equipo de recreación como tiendas y ropa como chaquetas de ski, ropa de cacería, caminata y equipo de ciclismo, botas y guantes; aplicaciones médicas (batas quirúrgicas); aplicaciones militares (traje para vuelos y ropa a prueba de químicos); protección de muebles, bolsas para filtros industriales para la industria de semiconductores.

Automotriz: Incluyen, principalmente cables *push-pull* para aceleradores, transmisiones, embragues y frenos. El PTFE se usa debido a su bajo coeficiente de fricción, inercia química y resistencia a temperaturas extremas. En esta aplicación, el poder de

⁽⁶⁾ Manguito o tubillo de material aislante utilizado para aislar o proteger hilos o conductores desnudos, o para dar mayor protección a un grupo de hilos aislados.

lubricación periódica. Otra aplicación con un buen potencial de crecimiento es el de las mangueras automotrices⁽⁴⁾ para el transporte de varios fluidos. En las líneas de combustible, las cuales deben ser impermeables a emisiones de hidrocarburos y mezclas variantes de combustibles, el PTFE es competitivo entre otros tipos de compuestos (fluoropolímeros, fluoroclastómeros, fluorosilicones, etc.).

Otros: También se utiliza para empaques⁽⁵⁾ y empaques para bombas. En algunos casos se utiliza polvo fino para tubería y líneas de montaje, cinta selladora para roscas y ligamentos sintéticos para las rodillas.

En la siguiente tabla se presentan los estimados de consumo de polvo fino en el mercado estadounidense:

Tabla 1.12
Consumo de resina de polvo fino de PTFE en E.U.A. ⁽¹⁾ -1991
(miles de Ton.)

Alambre y cable (no automotriz)	1.31
Tubería (no automotriz)	0.86
Laminados textiles	0.81
Automotriz	0.63
Otros	0.40
Total	4.01

Fuente (8). *Chemical economics handbook*, 1992.

1. Incluye el consumo de cantidades menores del grado de relleno de polvo fino de PTFE.

⁽¹⁾ Algunas son sobretrenzadas o reforzadas.

⁽⁴⁾ Para reemplazar asbestos en manejo de fluidos.

DISPERSIÓN ACUOSA.

Este tipo de resinas se utiliza como recubrimiento para utensilios de cocina, para producir partes mecánicas de autolubricación y no contaminantes e impregnación de texturas como fibra de vidrio (con el propósito de hacer laminados).

Tabla 1.13
Consumo de resina de dispersión acuosa de PTFE en E.U.A.
(miles de Ton.)

Recubrimientos industriales y para el consumidor	1.58
Fibras	0.77
Fibra de vidrio recubierta y textiles	0.54
Antipolvo	0.22
Artículos impregnados y otros	0.40
Total	3.51

Fuente (8). Chemical economics handbook, 1992.

Recubrimientos industriales y de consumo doméstico: Los recubrimientos para uso doméstico se utilizan principalmente en utensilios de cocina, una de las tres capas de material base de PTFE se aplica por medio de atomizado electrostático, y una o más capas pueden contener un alto porcentaje de resina de sulfuro de polifenileno. Los recubrimientos para el consumo doméstico, que representan el 85% del mercado doméstico, se aplican principalmente a utensilios de cocina, planchas de vapor, herramientas e implementos de jardinería. Los recubrimientos industriales, que representan el 15% del consumo doméstico, se utilizan para artículos como bandas transportadoras, rodillos y tolvas.

Fibras: Las fibras de PTFE se emplean en la fabricación de materiales filtrantes y filtros que se usan para remover las partículas de desechos industriales gaseosos altamente ácidos. También se utilizan en empaques para bombas, empaques, cojinetes y en otras aplicaciones de sellado para fluidos. Debido a que son más fáciles de manejar que los polvos,

las fibras de PTFE se usan en operaciones con plásticos para preparar grados lubricados de resinas ingenieriles (como el poliacetal).

Fibra de vidrio recubierta y textiles: La fibra de vidrio se utiliza para domos para grandes construcciones como estadios. Otras aplicaciones son: bolsas para filtros en estaciones generadoras, empaques para válvulas y bombas y tableros de circuitos impresos.

Antipolvo: El PTFE es un excelente agente contro polvo.

Artículos impregnados y otros: Las dispersiones acuosas se utilizan para la impregnación de varios artículos como empaques rígidos y blandos para bombas, juntas hechas de fibras de PTFE. Otra aplicación incluye las baterías de celda seca.

LUBRICANTES.

Además de las tres formas de alto peso molecular de PTFE que se mencionaron anteriormente, alrededor de 4-5 millones de libras de bajo peso molecular del polímero se consumen como lubricantes, los cuales se usan principalmente en tintas de impresión y una pequeña parte en plásticos y hule, películas secas, recubrimientos, aplicaciones textiles y moldes desprendibles y como un aditivo para ceras y grasas.

1.2.4. MATERIAL SUSTITUTO.

Un material sustituto importante del Politetrafluoroetileno es la Poliamida-imida (PAI), que toma como característica competitiva principal la baja resistencia de arrastre del PTFE a pesar de tener una resistencia química mayor que la del PAI⁽²⁴⁾

⁽²⁴⁾ Fitzpatrick, J.F. Polyamide-imide (PAI)

Las Poliamida-imidas (PAI's) son polímeros de condensación de alto desempeño que representa un producto de reacción de anhídrido trimelítico y diaminas aromáticas. El material se llama amida-imida debido a que la cadena del polímero alterna enlaces de amida y enlaces de imida.

La combinación de grupos aromáticos con enlaces de imida es responsable de la excepcional estabilidad térmica del PAI. Los grupos amida imparten flexibilidad y elongación, lo cual da una maleabilidad única.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

- Excepcional estabilidad dimensional. La inestabilidad dimensional en plásticos es debida a la existencia de zonas de transición cristalinas. El PAI tiene una transición singular (temperatura de cristalización mayor de 275°C o 525°F), que es arriba de su temperatura usual, resultando una estabilidad dimensional excepcional a través de su rango de operación.
- Amplio intervalo de funcionamiento térmico: El PAI es funcional desde la temperatura de nitrógeno líquido (y posiblemente menos), hasta mayores de 260°C (500°F), dependiendo de los requerimientos mecánicos.
- Conservación de las propiedades después del envejecimiento térmico: El PAI resiste descomposición química y retiene su fortaleza después de prolongadas exposiciones térmicas.
- Estabilidad radiactiva: El rango del PAI es uno de los más estables de los termoplásticos en ambientes radiactivos.
- Estabilidad al ultravioleta: El PAI es inerte a la radiación ultravioleta.
- Alta resistencia a la fatiga: Los PAI's reforzados con grafito y fibra de vidrio tienen una excelente resistencia a la fatiga.
- Excepcional fuerza mecánica: Ningún otro termoplástico disponible es tan fuerte como el PAI sobre su intervalo de temperatura.

- Bajo coeficiente de expansión térmica. Este coeficiente cae dentro del mismo intervalo de la mayoría de los metales estructurales.
- Metalizable: El PAI puede ser metalizado por una gran variedad de técnicas.
- Características de desgaseamiento: El uso de un material al alto vacío en el espacio exterior requiere que no tenga componentes de desgaseamiento. Sin embargo, el PAI no contiene alguno de éstos.

Tipos de resinas compuestas. Existen varios grados de PAI comercialmente disponibles a los cuales se les agrega diferentes porcentajes de grafito y PTFE con el fin de aumentar su moldeabilidad (plasticidad), así como reducir su coeficiente de fricción e incrementar su resistencia al desgaste.

1.3. PRINCIPALES PRODUCTORES DE FLUOROPOLÍMEROS EN EL MUNDO

1.3.1. ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

El principal productor de PTFE es Du Pont, seguido por ICI. Ambas compañías manufacturan el fluoropolímero en las tres regiones mundiales más importantes (E.U.A., Europa Occidental y Japón). Allied Joins es la tercera compañía productora de éste en E.U.A.

En la siguiente tabla se presentan los productores de los fluoropolímeros comerciales, la localización de sus plantas y sus capacidades anuales estimadas (1992):

Tabla I. 14
Productores de fluoropolímeros en E.U.A.⁽¹⁾ (millones de lb)

Compañía y localización de la planta	PTFE	PVDF	FEP	E-CTFE	PVF	E-TFE	PFA
Allied-Signal Inc. Engineering Plastics Division Pottsville, PA				na			
Ausimont USA, Inc. Orange, TX Thorofare, NJ	2 ²	10		4.2			
Du Pont Company Du Pont Polymer Buffalo, NY Cricleville, OH Parkerburg, WV	23 ³		na 9		5.5	na 4.5	na 2.2
Elf Atochem North America Calvert City, KY		12					
ICI American Holdings ICI Americas Inc. ICI Advanced Materials Group ICI Engineering Plastics Americas Bayonne, NJ	8 ⁴						
Total	31	22	9	4.2	5.5	4.5	2.2

Fuente (8). chemical economics handbook, 1992.

- Además de los productores enlistados en la tabla la Daikin Industries, Ltd. (Japón) construirá una planta para producir resina de PTFE en Decatur, Alabama.
- Ausimont completó la construcción de una instalación de PTFE terminado en Orange, TX, en 1990. La instalación está diseñada para ofrecer grados terminados de material usando resina de PTFE importado.
- Du Pont se ha impuesto incrementar la capacidad de producción mundial de PTFE un 50% de 1990 a 1995.

4. La capacidad total de PTFE se incrementó de 6 a 8 millones de libras (incluyendo el doble de la capacidad de resinas granulares) en 1990.

1.3.2. EUROPA OCCIDENTAL

La siguiente tabla presenta los productores de fluoropolímeros en diferentes países de Europa Occidental, la localización de sus plantas, capacidades de producción, tipo de fluoropolímero producido y su nombre comercial.

Tabla 1.15
Productores de fluoropolímeros en Europa Occidental

Compañía y localización de la planta	Capacidad anual ⁽¹⁾ (millones de ton.)	Tipo de polímero	Nombre comercial
Francia			
EIF-Atochem S.A.	1.5	PCTFE	Voitalef
Pierre-Benite	1.0	PVDF	Forafion, Kynar
Solvay S.A.			
Tavaux	2.5	PVDF	Solef, Vidar
Alemania			
Hoechst Aga			
Gendorf	6.5	PTFE	Hostafion PTFE
	0.3	E-TFE	Hostafion ET
	0.2	PFA	Hostafion PFA
	0.3	FEP	Hostafion FEP
Italia			
Ausimont S.p.A.			
Spinetta-Marengo	5.0	PTFE	Algoflon
	0.25	PFA	Hyflon
	0.1	E-TFE	Hyflon

Tabla 1.15.(continuación)
Productores de fluoropolímeros en Europa Occidental

Compañía y localización de la planta	Capacidad anual ⁽¹⁾ (millones de ton.)	Tipo de polímero	Nombre comercial
Holanda			
Du Pont de Nemours (Nederland)	3.5	PTFE	Teflon PTFE
Dordrech	1.5	FEP	Teflon FEP
Reino Unido			
Imperial Chemical Industries PLC			
ICI Chemicals & Polymers Ltd.			
Fletwood	3.0	PTFE	Fluon

Fuente (8). Chemical economic handbook, 1992.

(1) Capacidad Anual de 1992.

De los seis productores de fluoropolímeros en Europa, las tres compañías con la mayor capacidad (Austmont, Du Pont y Hoechst) también ofrecen el más amplio rango de productos. Cada una de las compañías restantes se especializa sólo en uno o dos tipos de resina.

De 1988 a 1991 los productores de fluoropolímeros en Europa incrementaron su capacidad total de producción de un 20-25%. La mayoría de este incremento fue de resinas de PTFE. La capacidad total de PTFE en 1991 fue aproximadamente de 18,000 ton. métricas, siendo cerca del 70% del total de la capacidad de producción de fluoropolímeros de Europa Occidental. Se producen varios tipos de productos de PTFE, incluyendo granulado vírgen, compuestos rellenos, polvos finos (dispersiones coaguladas), dispersiones acuosas.

1.3.3. JAPÓN

En la tabla siguiente se presentan los productores de fluoropolímeros, la localización de la planta, así como los nombres comerciales de los diferentes productos.

Tabla 1.16
Productores de fluoropolímeros en Japón.

Compañía y localización de la planta	Capacidad anual ⁽¹⁾ (millones de ton.)	Tipo de Polímero	Nombre Comercial
Asahi Glass Company, Ltd. ⁽¹⁾ Ichihara, Chiba Prefecture	1.5	E-TFE	Aflon COP
	0.3	PFA	
Asahi-ICI Fluoropolymers Co, Ltd. ² Ichihara, Chiba Prefecture	3.5	PTFE	Aflon
Central Glass Co., Ltd. Ube, Yamaguchi Prefecture	0.1	PVDF copolímero PCTFE copolímero	Cefral Soft Cefral Soft
Daikin Industries Ltd. ⁽³⁾ Kashima, Ibaraki Prefecture Setsu, Osaka Prefecture	8.0	PTFE	Polyflon
		E-TFE	Neoflon
	5.5	PTFE	Polyflon
		FEP	Neoflon
		PFA	Neoflon
		PVDF PCTFE	Neoflon Daoflon
Du Pont-Mitsui Fluorochemicals Co. ⁽⁴⁾ Shimizu, Shizuoka Prefecture	4.0	PTFE	Teflon PTFE
	0.5	PFA	Teflon PFA
	0.5	FEP	Teflon FEP
	0.2	EPE	

Tabla 1.16 (continuación)
Productores de fluoropolímeros en Japón.

Compañía y localización de la planta	Capacidad anual ⁽¹⁾ (millones de ton.)	Tipo de Polímero	Nombre Comercial
Kureha Chemical Industry Co., Ltd Iwaki, Fukushima Prefecture	0.4	PVDF	KF Polymer
TOTAL	24.5		

Fuente (8). Chemical economic handbook. 1992.

1. Compañía que usa la tecnología de ICI
2. Compañía que produce PTFE de bajo peso molecular (Lubron®) y fluoroelastómero (Daiel®), las cuales se incluyen en la capacidad estimada
3. Compañía que usa la tecnología de Du Pont

Con la mayor capacidad de producción doméstica y el más amplio rango de productos, las industrias Daikin son los líderes en producción de polímeros. Otros productores mayores son Du Pont e ICI; ambas compañías participan en el mercado japonés y también mantienen sus instalaciones para producción de fluoropolímeros en Estados Unidos de América y Europa. Las compañías restantes, incluyen Asahi Glass, Central Glass y Kureha, que producen pequeñas cantidades de fluoropolímeros sólo en Japón.

La capacidad de producción en Japón es de alrededor de 24,500 ton. métricas por año. Del total, el PTFE representa aprox. 15,500 tons. métricas de la capacidad anual, mientras que los otros fluoropolímeros representan las 9,000 tons. métricas restantes.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE MERCADO

Para poder entender la importancia de los fluoropolímeros en el ámbito mundial, en especial del PTFE, se hace una comparación entre el mercado mundial y México basados en datos estadísticos reportados con el fin de establecer un parámetro de comportamiento para la economía mexicana.

2.1. SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS FLUOROPOLÍMEROS

La producción mundial y consumo de los fluoropolímeros alcanzó el nivel de 150 millones de lb (68 mil ton. métricas), valuadas como U.S.\$1450 millones en 1991. En ese

año, la capacidad de producción mundial fue de alrededor de 211 millones de lb (96,000 ton métricas). Basados en estos estimados la capacidad mundial utilizada en la industria de los fluoropolímeros fue de 71%. En 1991, el comercio mundial de los fluoropolímeros alcanzó el nivel de los 36.4 millones de lb (16,500 ton. métricas), representando el 24% del consumo total. De 1991 a 1996, el crecimiento en el consumo total de los fluoropolímeros promediará un 4.2% por año.

Tabla 2.1
Oferta/Demanda mundial de los fluoropolímeros (1991)
(miles de Ton.)

	Estados Unidos		Europa Occidental		Japón		Otras regiones	Mundial
	PTFE	Otro	PTFE	Otro	PTFE	Otro		
Capacidad	6.39	10.2	8.16	3.47	7.03	4.08	3.95	43.5
Producción	5.58	7.03	5.03	2.26	5.12	2.04	3.76	30.4
Importaciones	1.54	1.36	1.36	0.68	0.13	0.77	1.63	7.71
Exportaciones	0.95	0.95	1.40	0.95	2.04	0.9	0.27	7.71
Consumo aparente	6.16	7.43	4.98	1.99	3.22	1.95	5.12	30.4
Valor de Consumo	94.3	174	80.74	76.65	56.2	82.5	92.98	657

Fuente (8). Chemical economics handbook, 1992.

Tasa media anual de crecimiento

1991 - 1996	4.4%	2.9%	3%	3 - 4 %	6 - 10%	4.2 %
-------------	------	------	----	---------	---------	-------

Europa Occidental produce y consume el 24% y 23%, respectivamente, del volumen mundial de fluoropolímeros. El PTFE representa la mayoría de la capacidad de Europa Occidental, producción, consumo y venta. La capacidad de utilización, que es de 60-65% para ambos, PTFE y otros fluoropolímeros es, de cualquier modo, menor que el promedio

mundial. De 1991 a 1996, el crecimiento promedio en el consumo de fluoropolímeros será de cerca del 3% anual, con un crecimiento promedio mayor al esperado para tuberías rellenas de PTFE, así como de otros fluoropolímeros procesables por fusión. La llegada potencial del mercado de cable y alambre *plenum* en Europa Occidental puede hacer crecer estos prospectos substancialmente.

Japón produce y consume 23% y 16% respectivamente, del volumen mundial de fluoropolímeros. El PTFE representa la mayoría de la capacidad, producción, consumo y venta japonesas. En 1991, la capacidad japonesa de utilización del PTFE fue del 73%, mientras que la capacidad de utilización de otros fluoropolímeros fue sólo del 50%. Japón es la gran región vendedora; las exportaciones japonesas representan el 40% de la venta mundial de fluoropolímeros. El consumo japonés de fluoropolímeros crecerá con una velocidad promedio de 3-4% entre 1991 y 1996.

Otras regiones producen y consumen cantidades significativas de fluoropolímeros incluyendo Brasil, Canadá, la República Popular de China, la República de Corea, Polonia, Rusia y Taiwan. Estos países producen y consumen 12% y 17%, respectivamente, del volumen mundial de fluoropolímeros. El PTFE representa más del 95% de la capacidad, producción, consumo y comercialización de dichas regiones^(a). Debido al rápido desarrollo económico y al incremento en la demanda en el mercado de procesamiento químico, el consumo de fluoropolímeros se incrementará a una velocidad promedio anual del 6-10% de 1991 a 1996.

2.2. SITUACIÓN EN ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA.

2.2.1 BALANZA COMERCIAL

Estados Unidos de América es la región dominante, produce y consume 41% y 44%, respectivamente, del volumen mundial de los fluoropolímeros. La capacidad del

^(a) La mayoría de las instalaciones de producción en estos lugares se estima que trabajan a su capacidad.

PTFE que cuenta como el 38% de la capacidad total de E.U.A., es altamente usada, puesto que la capacidad de utilización en este país de otros fluoropolímeros es sólo del 68%. Los Estados Unidos es un importador neto de ambos, PTFE y otros fluoropolímeros. De 1991 a 1996, el consumo de PTFE aumentará en 4.4% cada año debido al incremento en la demanda en los mercados ambientales, automotriz y procesos químicos^(b). El mercado del cable y alambre *plenum*^(c) que existe sólo en E.U.A., es aproximadamente la mitad del consumo norteamericano de otros fluoropolímeros. Aunque el mercado del *plenum* crecerá cerca del 8% anual, el crecimiento de los fluoropolímeros en las aplicaciones de *plenum* se va a hacer mixto, en el sentido de que, mientras ciertas resinas crecen, otras pueden caer en desuso y, como consecuencia, será menor que el 8% debido a que los fluoropolímeros continuarán perdiendo mercado a causa de los aislantes no-fluoropoliméricos y materiales enchaquetados. De 1991 a 1996, los prospectos de crecimiento de los mercados del alambre y cable, incluyendo el *plenum* disminuirán y limitarán el crecimiento promedio en el consumo norteamericano de otros fluoropolímeros a una velocidad anual del 2.9%.

Tabla 2.2.
Balanza comercial del PTFE en Estados Unidos de América,
(miles de Ton.)

Año	Producción	Importaciones	Exportaciones	Consumo aparente
1985	11.52	2.13	1.13	12.51
1986	12.06	2.67	1.72	13.01
1987	11.83	2.94	0.9	13.88
1988	11.70	3.17	1.04	13.92
1989	11.34	4.08	1.4	14.01
1990	12.51	3.62	2.22	13.92
1991	12.33	3.4	2.08	13.65

Fuente (8) Chemical companies handbook, 1992.

2.2.2 PRODUCCIÓN Y VENTAS.

La siguiente tabla presenta las estadísticas más recientes para el PTFE basado en los datos reportados por *The U.S. International Trade Commission* y estima que:

^(b) Estados Unidos de América cuenta con el 65% del consumo mundial de otros fluoropolímeros procesables por fusión.

^(c) Ver Anexo A.

Tabla 2.3.
Producción y ventas de PTFE en Estados Unidos de América.
 (miles de Ton.)

Año	Producción	Ventas
1960	2.72	--
1965	4.53	--
1969	5.89	--
1970	5.44	--
1971	5.44	--
1972	6.03	4.35
1973	6.35	5.80
1974	8.34	6.71
1975	5.89	4.94
1976	7.07	5.89
1977	8.39	6.44
1978	9.16	7.66
1979	11.29	9.75
1980	9.79	--
1981	--	--
1982	--	--
1983	--	--
1984	12.88	10.38
1985	11.52	9.07
1986	12.06	9.93
1987	--	--
1988	11.79	11.15
1989	11.34	--
1990	12.51	--
1991	12.33	--

Fuente (8) idem.

Tabla 2.4.
Consumo de resinas de PTFE en E. U.A.
 (miles de Ton.)

	GRANULAR	POLVO FINO	DISPERSIÓN ACUOSA	TOTAL
1988	6.66	3.9	3.35	13.92
1989	6.57	3.9	3.53	14.01
1990	6.53	3.76	3.62	13.91
1991	6.07	4.03	3.53	13.63
1996*	7.75	5.12	4.08	16.96

Fuente (8) idem.
 *Pronóstico

Tasa media anual de crecimiento

	GRANULAR	POLVO FINO	DISPERSION ACUOSA	TOTAL
1991 - 1996	5%	5%	3%	4.4%

2.3. SITUACIÓN EN MÉXICO

Los datos que presentaremos a continuación son estadísticas presentadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) que se obtuvieron en el Banco de Comercio Exterior (BANCOMEXT)⁽²⁸⁾.

De acuerdo con estos datos podemos observar que en México no ha habido producción de Politetrafluoroetileno dentro de la industria petroquímica, por lo cual ha sido necesaria la importación para cubrir la demanda interna.

Tabla 2.5.
Importaciones de PTFE en México.

Año	País	Toneladas	Costo (Pesos)
1966	E.U.A	4.598	545,417
	Reino Unido	0.179	11,453
	TOTAL	4.777	556,870
1967	E.U.A.	1.156	90,468
	Reino Unido	0.267	16,745
	Total	1.413	107,213
1968	E.U.A.	8.316	636,574
	Reino Unido	1.525	98,498
	Total	9.841	735,072
1969	E.U.A.	13.986	1,088,972
	Alemania Rep. Fed.	2.552	166,320
	Reino Unido	7.324	504,567
	Total	23.862	1,759,861

⁽²⁸⁾ INEGI (1965-1992) Anuarios estadísticos de importaciones y exportaciones de México.

Tabla 2.5 (continuación)
 Importaciones de PTFE en México.

Año	País	Toneladas	Costo (Pesos)
1970	E.U.A.	21.120	1,601,410
	Alemania Rep. Fed.	1.236	76,538V
	Reino Unido	5.695	420,773
	Total	28.051	2,098,721
1971	E.U.A.	23.840	1,869,333
	Alemania Rep. Fed.	1.643	109,319
	Reino Unido	4.465	325,122
	Canada	0.030	2,259
Total	29.978	2,306,033	
1972	E.U.A.	24.895	1,747,451
	Alemania Rep. Fed.	2.322	164,509
	Reino Unido	1.081	79,708
	Guatemala	0.026	3,978
Total	28.324	1,995,646	
1973	E.U.A.	54.660	4,026,603
	Alemania Rep. Fed.	4.704	395,338
	Francia	0.023	4,394
	Total	59.387	4,426,335
1974	E.U.A.	47.287	3,567,687
	Alemania Rep. Fed.	0.420	36,109
	Total	47.707	3,603,796
1975	Canadá	1.659	80,612
	E.U.A.	10.143	998,623
	Perímetros libres	0.744	3,500
	Total	12.546	1,082,735
1976	Alemania Rep. Fed.	0.102	65,614
	Japón	0.022	7,798
	E.U.A.	23.291	2,906,677
	Total	23.415	2,980,089
1977	Alemania Rep. Fed.	3.315	418,672
	E.U.A.	33.454	6,353,925
	Japón	0.040	30,424
	Perímetros libres	6.782	34,200
	Total	43.591	6,837,221
1978	Alemania Rep. Fed.	1.077	134,148
	E.U.A.	114.222	8,784,064
	Japón	0.040	29,107
	Total	115.339	8,947,319
1979	Alemania Rep. Fed.	0.026	29,120
	E.U.A.	62.726	15,544,541
	Japón	0.040	8,873
	Total	62.792	15,582,534
1980	E.U.A.	56.766	15,262,000
	Japón	0.110	53,000
	Total	56.876	15,315,000
1981	E.U.A.	98.697	28,306,000
	Total	98.697	28,306,000

Tabla 2.5. (continuación)
 Importaciones de PTFE en México.

Año	País	Toneladas	Costo (Pesos)
1982	E.U.A.	69.901	44,351,000
	Total	69.901	44,351,000
1983	E.U.A.	50.182	84,226,000
	Total	50.182	84,226,000
1984	Alemania Rep. Fed.	9.000	11,189,000
	E.U.A.	83.522	121,963,000
	Total	92.522	133,152,000
1985	Alemania Rep. Fed.	9.201	18,990,000
	E.U.A.	88.085	280,217,000
	Japón	0.034	58,000
	Total	97.320	299,265,000
1986	Alemania Rep. Fed.	10.516	59,528,000
	E.U.A.	57.419	431,271,000
	Total	67.935	490,799,000
1987	Alemania Rep. Fed.	4.906	87 E 6
	E.U.A.	68.233	1,037 E 6
	Japón	1.350	17 E 6
	Italia	0.007	1 E 6
	Total	74.496	1,142 E 6
1989	Alemania Rep. Fed.	3.657	93 E 6
	Bélgica	0.100	4 E 6
	Canadá	0.009	4 E 6
	E.U.A.	207.817	6,684 E 6
	Países Bajos	0.186	8 E 6
	Japón	0.200	3 E 6
	Total	211.969	6,796 E 6
1990	Alemania Rep. Fed.	2.525	104 E 6
	Bélgica	0.500	24 E 6
	Corea del Norte	0.580	21 E 6
	E.U.A.	219.963	8,902 E 6
	Países Bajos	21.850	773 E 6
	Japón	0.240	4 E 6
	Total	245.658	9,828 E 6
1991	Alemania Rep. Fed.	0.800	34 E 6
	España	0.420	25 E 6
	Holanda	7.320	355 E 6
	E.U.A.	211.122	9,050 E 6
	Reino Unido	1.275	42 E 6
	Japón	10.371	149 E 6
	Total	231.298	9,655 E 6
1992	Alemania Rep. Fed.	1.326	68 E 6
	Francia	0.305	301 E 6
	Holanda	3.897	187 E 6
	E.U.A.	234.427	9,092 E 6
	Reino Unido	3.725	156 E 6
	Singapur	0.293	20 E 6
	Japón	0.055	9 E 6
	Total	244.028	9,833 E 6

Fuente (28). INEGI. (1969-1992). Anuarios estadísticos de importaciones y exportaciones de México.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS ECONÓMICO

3.1. ANTECEDENTES.

La econometría trata de la aplicación de la teoría económica, la matemática, y las técnicas estadísticas con el fin de probar hipótesis y estimar, así como pronosticar, los fenómenos económicos. La econometría ha llegado a estar ampliamente identificada con el *análisis de regresión*. Éste relaciona una variable dependiente con una o más variables independientes o explicatorias. Como las relaciones entre variables económicas son generalmente inexactas, debe incluirse un término estocástico ó error (con propiedades de probabilidad bien definidas) ⁽³⁵⁾.

⁽³⁵⁾ Makradakis. S. Forecasting: methods and applications. 1983.

La investigación econométrica, en general, comprende las tres etapas siguientes:

Etapla 1. Especificación del modelo o enunciado de la hipótesis en forma de ecuación estocástica explícita, junto con las expectativas teóricas *a priori*^(a) sobre el signo y tamaño de los parámetros de la función.

Etapla 2. Recolección de datos sobre las variables del modelo y estimación de los coeficientes de la función con técnicas econométricas apropiadas.

Etapla 3. Evaluación de los coeficientes estimados de la función sobre la base de criterios económicos, estadísticos y econométricos.

La principal ventaja de los modelos econométricos es que a través de ellos, pueden encontrarse las interdependencias entre diferentes fenómenos económicos y tecnológicos. Tales modelos son de gran valor para entender de una manera más adecuada la forma en que un sistema ya sea económico o tecnológico, se ha desarrollado y se desarrolla así como para probar y evaluar políticas alternativas. Estas metas son diferentes cuando se trata de pronosticar, es decir, de predecir más bien que de entender, aprehender los fenómenos inmersos en el análisis *per se*^(b).

De una manera muy simplificada, las interdependencias a las que nos hemos referido anteriormente podrían representarse por el siguiente modelo econométrico.

$$\text{Ventas} = f_1 (\text{PIB, precio, publicidad, gastos de I. y D.}^{(c)}) \quad (3.1)$$

$$\text{Costo de producción} = f_2 (\text{cantidad producida, inventarios, costos de mano de obra y materiales, gastos de I. y D.}) \quad (3.2)$$

$$\text{Gastos de ventas} = f_3 (\text{publicidad, otros gastos de venta}) \quad (3.3)$$

$$\text{Publicidad} = f_4 (\text{ventas}) \quad (3.4)$$

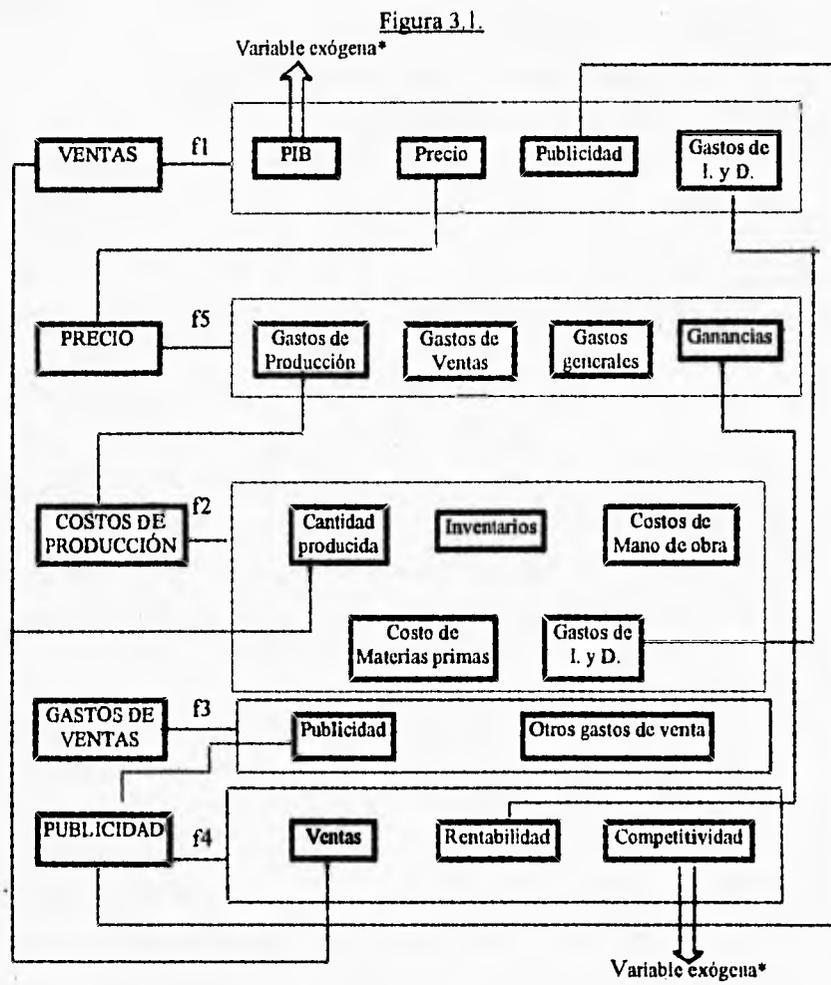
^(a) Exp. lat.: anticipada o hipotéticamente. Adj. previo a la experiencia o que no depende de ella.

^(b) Frase latina que significa "por sí" o "por sí mismo".

^(c) Investigación y Desarrollo.

$$\text{Precio} = f5 (\text{costos de producción, gastos de ventas, gastos generales de administración, ganancia}). \quad (3.5)$$

El conjunto de estas cinco ecuaciones se puede representar esquemáticamente como sigue:



* Las variables exógenas no se determinan dentro del sistema.

En un modelo econométrico, el investigador se enfrenta a muchas actividades similares en las que se funda el análisis de regresión múltiple. Es decir:

- 1) Determinar las variables que se deben especificar en cada ecuación (especificación).
- 2) Determinar la forma funcional de cada ecuación.
- 3) Estimar, simultáneamente, los parámetros de las ecuaciones.
- 4) Probar estadísticamente la significación de los resultados.
- 5) Probar la validez de las suposiciones que se han involucrado en el cálculo de los parámetros.

3.2. EL PAPEL DE LOS PRONÓSTICOS EN LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA.

DEFINICIONES.

"La planeación estratégica, se refiere a la utilización del conocimiento y capacidad del ser humano para diseñar el futuro deseado, indispensable cuando se pretende involucrar a un conjunto de decisiones que corresponden a las características de una MISIÓN, y la interrelación de ésta con los OBJETIVOS y METAS que se pretenden alcanzar dentro de una organización"⁽¹⁾.

Esta definición se ha ido adecuando, modificando y reestructurando para enfocarla hacia el entorno de las organizaciones, de forma tal de utilizar el paradigma que proporciona la Teoría de sistemas: el ser, el hacer y el devenir, dando lugar a tres polos que se insertan en el conocimiento de un objeto bajo estudio: su definición funcional, su definición ontológica o analítica y su definición genética. Existe por ello una relación circular entre estos tres aspectos básicos de los sistemas: las estructuras cambian un instante cuando éstas se encuentran en funcionamiento, pero cuando el cambio es tan grande que es necesariamente irreversible, entonces un nuevo proceso se desarrolla, dando lugar a una nueva estructura, alcanzando con ello uno de los principios básicos de la planeación estratégica.

⁽¹⁾ Ackoff, R.L. A concept of corporate planning. 1970.

“La planeación estratégica es un proceso de toma de decisiones, sobre los objetivos más importantes de una organización y las políticas y estrategias que gobernarán la adquisición, uso y disposición de sus recursos, para alcanzar los objetivos considerados en su misión a través de metas predefinidas” (Steiner).

“La planeación estratégica es un conjunto de decisiones que involucran a la organización de una empresa dentro del contexto de un horizonte de largo plazo y que le proporciona herramientas para controlar los disturbios que le presenta el medio ambiente para que pueda prevenirlos con el fin de alcanzar los estados futuros (misión, objetivos y metas) que dicha empresa quiere alcanzar” (Reynaud).

“La toma de decisiones no es solamente una operación de análisis y predicción, es el conjunto de acciones que hay que desarrollar en el presente a la luz de un futuro deseado” (Ansoff).

“El 'estado' de una empresa debe considerarse como un vector, donde cada uno de sus componentes puede ser uno de sus posibles valores en una de sus varias dimensiones factibles” (Reynaud).

“La estrategia es una conducta y una trayectoria que debe seguirse para convertirse en el ANTIÁZAR” (Masse) y “es un plan unificado comprensible e integrado, para asegurar los objetivos básicos, metas y resultados, que la empresa pretende alcanzar” (Mintzberg).

De esta manera:

“1. Las METAS son aquellos fines que se esperarán alcanzar dentro del período de tiempo que se representa por el horizonte de planeación (H. P.).

2. Los OBJETIVOS son aquellos fines que pudieran no alcanzarse durante el H.P., pero que se esperarían alcanzar y hacia los cuales se piensa que el PROGRESO es posible en el marco del H.P.⁽¹⁾.”

Considerando las definiciones anteriores, la planeación estratégica se tipifica por:

- a) Una atención más deliberada a la selección de finalidades, hacia las cuales la acción que habrá de planearse estará dirigida en conjunto con un esfuerzo para mejorarla a través de una mejor percepción de aquélla.
- b) Una comparación más avanzada y formal de los medios, utilizando los criterios derivados de los fines seleccionados.
- c) Una observación más adecuada de los resultados incluyendo un sistema para llevar a cabo la evidencia del progreso hacia metas específicas.
- d) Una movilización de la ciencia y tecnología o de cualquier otro conocimiento especializado, en un marco de información y toma de decisiones.
- e) Un énfasis en la información anterior a la predicción y luego a la persuasión, más que sobre un poder coercitivo y autoritario.
- f) Un incremento en la capacidad de combinar esfuerzos en varias líneas de acción simultáneas; sobre una, otra.
- g) Un marco conceptual lógico de una generalidad creciente que se compromete más con los objetivos fundamentales que es necesario alcanzar.

Para cumplir con los siete postulados anteriores, cinco son, al menos, las fases de la planeación estratégica.

1. Formular el sistema de riesgos y oportunidades que encara la organización.
2. Especificar los fines perseguidos que representan los objetivos de la planeación para diseñar el futuro deseado.
3. Seleccionar o crear los medios de que se servirá la planeación para alcanzar los fines. Estos representan las diferentes trayectorias para aproximarse al futuro deseado.
4. Determinar los recursos que se requerirán y tratar de obtenerlos cuando no estén disponibles, representando, así, la planeación de los mismos.
5. Diseñar la implantación y control de las acciones estratégicas formuladas dentro del plan.

3.3. LA IMPORTANCIA DE LOS PRONÓSTICOS Y LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA EN LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.

Debido a que tanto los pronósticos y la planeación estratégica se refieren por sí mismos por su rol de entender el futuro, es importante integrarlos dentro de la organización. Así podemos definir los principales postulados holísticos⁽³⁸⁾, para la planeación estratégica dentro de una organización:

“Si cada parte del sistema, considerada separadamente, se pretende que opere tan eficientemente como sea posible, el sistema, considerado como un TODO, NO OPERARÁ TAN EFICIENTEMENTE, como puede ser posible”.

Con ello, los principios holísticos de Coordinación e Integración de la planeación estratégica establecen que:

“...ninguna parte del sistema puede planearse en forma efectiva si ésta se planea independientemente de otra parte que se encuentra en su mismo nivel...”

“...la planeación efectuada a cualquier nivel de un sistema no puede ser tan efectiva como la planeación llevada a cabo interdependientemente a todos los niveles...”

“Toda parte de un sistema debe planearse simultánea e interdependientemente”.

“Entre más partes del sistema y de los niveles de éste, se planeen simultánea e interdependientemente, el resultado del proceso de planeación será mejor...”⁽³⁸⁾

Aunque la presente tesis no tiene como fin explicar y/o destacar la importancia de la planeación estratégica, ni tampoco las herramientas de análisis representadas por los pronósticos y el acto de pronosticar, a continuación proporcionaremos las razones por las cuales el binomio planeación-pronóstico ayuda a la mejor toma de decisiones en una organización.

⁽³⁸⁾ Miklos, T., Tello, M.E. Planeación interactiva. 1993

1) Enfoca la atención, tanto para preguntarse como para responderse acciones importantes para la empresa.

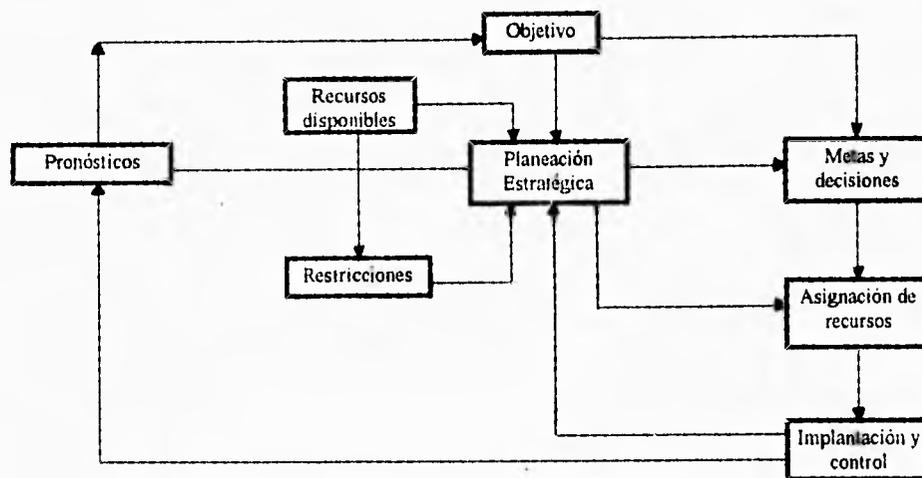
2) Introducen un conjunto de fuerzas y herramientas que guían la toma de decisiones en la empresa:

- Simulando el futuro.
- Utilizando un enfoque por los sistemas.
- Forzando y provocando a cuantificar objetivos.
- Revelando y clasificando las oportunidades futuras y los riesgos involucrados.
- Proporcionando un marco uniforme de toma de decisiones a través de la empresa.
- Arrimando a medir el comportamiento de la empresa.
- Ligando un conjunto de funciones de la administración.
- Llevando acciones estratégicas a los niveles superiores de la organización.

3) Proporcionan un conjunto de beneficios a la empresa estableciendo canales de comunicación y un sentido de participación.

Lo anterior puede describirse mediante el siguiente diagrama:

Figura 3.2.
Esquema del binomio planeación - pronóstico



En una organización, la capacidad de planear y tomar decisiones se relaciona con:

- 1) Estimar la situación de la empresa y su medio ambiente.
- 2) Determinar la capacidad de producción disponible.
- 3) Pronosticar la capacidad requerida.
- 4) Desarrollar planes alternativos para alcanzar la capacidad requerida.
- 5) Realizar análisis financieros cuantitativos.
- 6) Analizar los aspectos cuantitativos de cada alternativa.
- 7) Pronosticar los resultados de cada alternativa.
- 8) Seleccionar una alternativa específica.
- 9) Implantar la alternativa seleccionada.
- 10) Realizar una auditoría y examinar los resultados.

3.4. ANÁLISIS DE REGRESIÓN SIMPLE.

El modelo lineal de dos variables o análisis de regresión simple, se usa para probar hipótesis sobre la relación entre una variable dependiente, Y, y una variable independiente o explicatoria, X, y para predicción. El análisis de regresión lineal simple, por lo general, comienza representando gráficamente el conjunto de los valores XY sobre un diagrama de dispersión y determinando por inspección si allí existe una relación lineal aproximada⁽¹⁾.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i \quad (3.6)$$

Como es improbable que los puntos caigan precisamente sobre la línea, la relación lineal exacta de la ecuación (3.6) debe ser modificada para incluir un término de perturbación aleatoria, error, o término estocástico, u_i .

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + u_i \quad (3.7)$$

Se supone que el término de error está (1) normalmente distribuido, con (2) valor esperado o media cero y, (3) varianza constante y, más aún, se supone (4) que los términos de error no están correlacionados o relacionados uno con otro y, (5) que la variable explicatoria supone valores fijos en muestreo repetido (así que X_i y u_i no están relacionados tampoco).

Método de mínimos cuadrados ordinarios.

El método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) es una técnica para ajustar la línea recta "óptima"⁽⁴⁾ a la muestra de las observaciones XY. Esto involucra minimizar la suma de los cuadrados de las desviaciones (verticales) entre los puntos y la línea.

⁽¹⁾ Dominick, S. *Econometría*. 1982.

⁽⁴⁾ Aquella que muestre el menor error.

$$\text{Min } \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.8)$$

donde Y_i se refiere a las observaciones reales, y \hat{Y}_i se refiere a los valores ajustados correspondientes, así que $Y_i - \hat{Y}_i = e_i$, es el residuo. Esto conduce a las dos ecuaciones normales siguientes:

$$\sum Y_i = n\hat{b}_0 + \hat{b}_1 \sum X_i \quad (3.9)$$

$$\sum X_i Y_i = \hat{b}_0 \sum X_i + \hat{b}_1 \sum X_i^2 \quad (3.10)$$

donde n es igual al número de observaciones, y \hat{b}_0 y \hat{b}_1 son estimadores de los parámetros reales b_0 y b_1 .

Resolviendo simultáneamente las dos ecuaciones anteriores, obtenemos:

$$\hat{b}_1 = [(n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i) / (n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)] \quad (3.11)$$

El valor de \hat{b}_0 se da luego por:

$$\hat{b}_0 = \bar{Y} - \hat{b}_1 \bar{X} \quad (3.12)$$

Es útil, a menudo, usar una fórmula equivalente para estimar \hat{b}_1 :

$$\hat{b}_1 = \sum x_i y_i / \sum x_i^2 \quad (3.13)$$

donde $x_i = X_i - \bar{X}$, e $y_i = Y_i - \bar{Y}$. La ecuación (MCO) de regresión de mínimos cuadrados estimada es entonces,

$$\hat{Y}_i = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_i \quad (3.14)$$

3.4.1. RESULTADOS DE LA REGRESIÓN SIMPLE

Utilizando del datos que aparecen en la tabla 3.1., se efectuó regresión lineal para ajustar la demanda representada por las importaciones contra el tiempo y otras variables, de allí se tomaron los siguientes modelos:

Tabla 3.1.
Análisis de regresión simple

Año	Ton	NS	NS ponderados	PIB	PRECIO (NS/ton)	ln PIB	ln PRECIO	ln CONSUMO
1966	4.777	556.87	534.417	1.805E+9	11.873	6.3223218	4.71736433	1.56381273
1967	1.413	107.213	78.954	1.9189E+9	55.877	4.6748175	4.02314523	0.3457151
1968	9.841	735.072	564.473	2.075E+9	57.359	6.5999685	4.04933522	2.28655733
1969	23.862	1759.861	834.232	2.206E+9	34.961	7.4729901	3.55422490	3.17228724
1970	28.051	2098.721	1309.034	2.359E+9	46.666	7.6490834	3.84302045	3.33402428
1971	29.978	2306.033	1553.302	2.457E+9	51.815	7.743284	3.94767448	3.40046378
1972	28.324	1995.646	1668.813	2.667E+9	58.919	14.506478	4.07615837	3.3437095
1973	59.387	4426.335	3698.309	2.89E+9	62.275	8.3953272	4.13155562	4.08407335
1974	47.77	3603.796	3532.371	3.067E+9	73.945	15.097498	4.30332676	3.86639783
1975	12.542	1082.735	926.707	3.239E+9	73.888	6.9872455	4.30255443	2.52908301
1976	23.415	2980.089	2835.474	3.376E+9	121.097	14.907464	4.79658755	3.15337684
1977	43.591	6837.221	5930.632	3.492E+9	136.052	8.8301366	4.91303535	3.77485071
1978	115.339	8947.319	8625.422	3.781E+9	74.783	16.006864	4.31459355	4.74484652
1989	62.792	31156.19	15548.024	4.127E+9	247.611	10.346768	5.51186115	4.13982768
1980	56.876	15315	15209	4.47E+9	267.406	9.636588	5.58876917	4.04087346
1981	98.697	28306	28306	4.862E+9	286.797	10.250829	5.65877452	4.59205455
1982	69.901	44351	44351	4.832E+9	634.483	10.699891	6.45281058	4.24707996
1983	50.182	84226	84226	4.629E+9	1678.411	11.341259	7.42560254	3.9156564
1984	92.522	133152	112658	4.796E+9	1217.635	11.799247	7.10466550	4.52744645
1985	97.32	299265	263571	4.92E+9	2708.292	12.609085	7.90407354	4.57800452
1986	67.935	490799	386178	4.736E+9	5684.522	13.10379	8.64550231	4.21855137
1987	74.496	1142	948600	4.818E+9	12733.569	7.0405364	9.45199706	4.31074543
1989	211.969	6796000	6575000	5.047E+9	31018.687	15.731845	10.3423415	5.35644004
1990	245.658	9828000	8133000	5.272E+9	33107.002	16.100746	10.4075009	5.50394032
1991	231.298	9655000	8498000	5.463E+9	36740.482	16.082298	10.511634	5.44370692
1992	244.028	9833000	8422000	5.616E+9	34512.433	16.101255	10.4490749	5.49728297

Recordamos que la demanda de cualquier productos es una función del precio, del producto bajo análisis, de los precios de los productos que son sustitutos o complementarios (p_B, \dots, p_Z), del ingreso del consumidor (r) y de sus preferencias (P). Por lo tanto:

$$q_{DA} = f(p_A; p_B, \dots, p_Z; r; P) \quad (3.15)$$

a) Consumo = $f_1(t)$

t = tiempo como variable próxima de la demanda

Y = consumo (q)

$$1) Y = ae^{bt} \quad (3.16)$$

es decir:

$$\ln Y = a + bt$$

$$2) Y = a + bt \quad (3.17)$$

a y b son parámetros estimados por regresión.

b) Consumo = $f_2(\text{precio})$

$$\ln \text{Consumo} = a + b \ln \text{precio} \quad (3.18)$$

a y b son parámetros estimados de la regresión; b por definición es la elasticidad de la demanda al precio definida como:

$$(\partial \ln \text{consumo} / \partial \ln \text{precio}) = b \leq 0 = \partial (\text{consumo} / \text{consumo}) / \partial (\text{precio} / \text{precio})$$

c) Consumo = $f_3(\text{PIB})$

PIB como una variable "próxima" al ingreso (r)

$$\ln \text{Consumo} = a + b \ln \text{PIB} \quad (3.19)$$

a y b son parámetros estimados mediante la ecuación de regresión.

$$(\partial \ln \text{consumo} / \partial \ln r) = \text{elasticidad de la demanda al ingreso (b); } b \geq 0$$

Resultados:

Regresión : Tiempo vs ln consumo	
Constante	8.933030398
Error típico de est. Y	0.648154355
R cuadrada	0.724971006
Número de observaciones	26
Grados de libertad	24
Coficiente(s) X	0.13480537
Error estándar del coef.	0.01694847

x = tiempo ; y = ln consumo

Regresión : Tiempo vs. Consumo	
Constante	-28934.2092
Error típico de est. Y	43261.09455
R cuadrada	0.671998728
Número de observaciones	26
Grados de libertad	24
Coficiente(s) X	7932.34598
Error estándar del coef.	1131.22649

x = tiempo ; y = consumo

Regresión: Ln Precio vs. Ln Consumo.	
Constante	-0.753826021
Error típico de est. Y	0.878039485
R cuadrada	0.495280963
Número de observaciones	26
Grados de libertad	24
Coficiente(s) X	0.35165641
Error estándar del coef.	0.07246227

x = Ln precio ; y = Ln consumo

Regresión: Ln PIB vs. Ln Consumo	
Constante	-0.32998127
Error típico de est. Y	0.675095348
R cuadrada	0.701632288
No. de observaciones	26
Grados de libertad	24
Coficiente(s) X	0.3071932
Error estándar del coef.	0.0408909

x = Ln Producto Interno Bruto ; Y = Ln consumo

En las gráficas 3.3 y 3.4 se presentan los datos reales contra los ajustados. Mientras en las gráficas 3.5 y 3.6 se presenta un ajuste del consumo contra el PIB y de aquél contra los precios ponderados.

Figura 3.3.

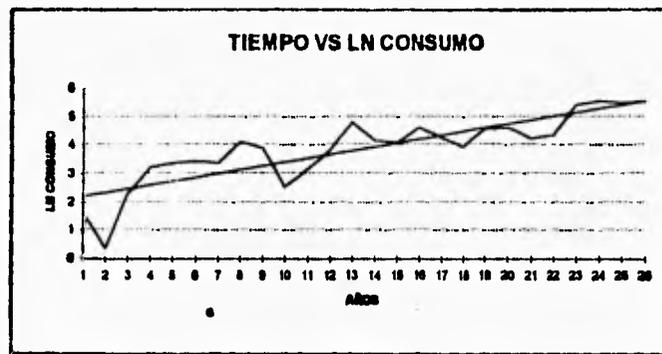


Figura 3.4.

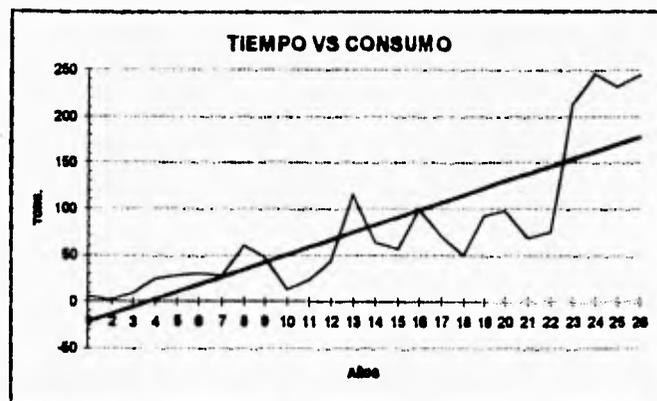


Figura 3.5

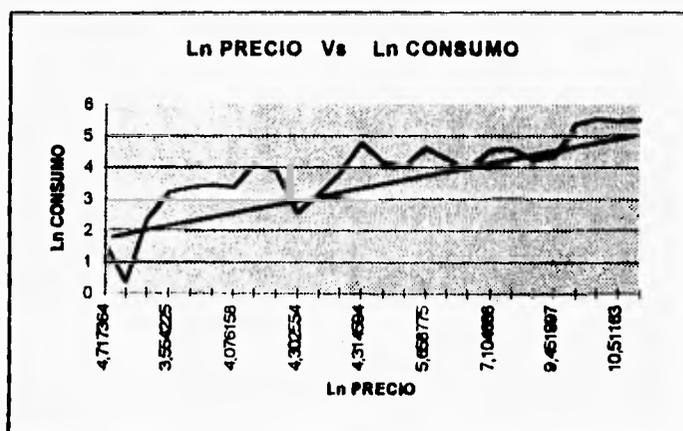
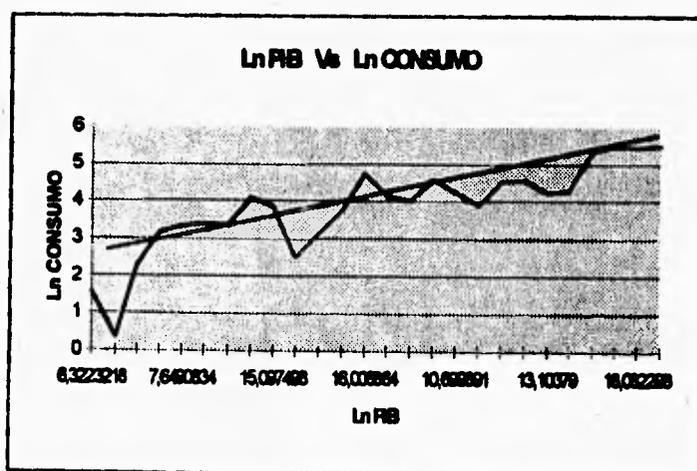


Figura 3.6



3.5. ANÁLISIS ECONOMETRICO UTILIZANDO REGRESIÓN MÚLTIPLE.

La actividad de pronosticar sobre las causas, no es tan simple como la de utilizar modelos que incluyen series de tiempo, como en el apartado 3.4.

La dificultad consiste en que los valores de cada variable independiente usada en el modelo, debe estimarse antes de poder pronosticar. Esta desventaja puede, sin embargo, volverse una ventaja en la medida en que se obtiene y analiza la información sobre los cambios que se efectúan en las variables controlables (las variables independientes), que tendrán sobre la variable dependiente a pronosticar. En realidad se trata de un laboratorio de simulación que mostrará los efectos de las variables independientes sobre la variable dependiente⁽¹⁾.

En lo que sigue, utilizaremos un modelo econométrico simple para pronosticar la demanda del PTFE⁽³⁵⁾.

En el análisis económico, las variables dependientes dadas no recogen instantáneamente el impacto que sobre ellas producen los cambios observados o inducidos por las variables explicativas, exógenas o independientes. Tampoco se produce todo el efecto esperado en una sola unidad de tiempo posterior al de la presentación de las causas. En general, los efectos esperados se distribuyen con distinta intensidad sobre una sucesión de periodos. De aquí que el uso de los valores observados es equivalente a realizar la hipótesis de que las expectativas en el futuro están fuertemente basadas en las cantidades que se han observado y que, por lo tanto, no difieren de ellas de un modo sistemático. Es por ello que, en este tipo de formulaciones, los valores observados se caracterizan más bien como valores anticipatorios que proporcionan impulsos reales que tienden a cubrir un nuevo equilibrio entre el valor observado y el valor anticipatorio. De aquí proviene la concepción de los modelos con retardos escalonados.

⁽¹⁾ En este caso los pronósticos causa-efecto se usarán para formular alternativas y cursos de acción para el tomador de decisiones.

⁽³⁵⁾ Makridakis, S. *Forecasting: methods and applications*. 1983.

A continuación se describen algunas de las causas que generan los retardos escalonados:

(a) Resistencias de comportamiento: Entre ellas se debe mencionar el hábito a la resistencia al cambio, a la formación de nuevos usos, etc^(a).

(b) Resistencias tecnológicas. Se deben a la adquisición de bienes de consumo duradero no obsoleto, a los requerimientos de ampliación en las capacidades instaladas, etc.

(c) Igualmente, pueden hacerse consideraciones sobre las expectativas en el comportamiento del producto interno bruto, de la ocupación y, en general, del nivel de actividad económica esperado y el grado de modernización y avance tecnológico de las estructuras nacionales.

(d) Una causa de incertidumbre, se encuentra en el grado de innovación tecnológica y su velocidad de propagación sobre el sistema económico. En períodos de rápidos avances tecnológicos, las expectativas de descubrimiento de nuevos tipos de productos en escala comercial son una fuente de incertidumbre que contribuye a reducir el horizonte económico de los sujetos de la actividad económica.

El modelo incluye las siguientes variables:

C_t = La demanda observada del PTFE en el período "t". La demanda observada es para todos los casos, la demanda "nacional".

C_t^* = La demanda esperada, tanto para el período de observación como para el período de pronóstico. La demanda esperada es un tipo de demanda que esperan o esperaron realizar los agentes económicos durante un cierto horizonte.

^(a) Estas determinan, con diferente intensidad, la propagación de una causa en una sucesión de períodos.

C_t = La demanda calculada (para el período de observación) o la demanda pronosticada (para el período de predicción) del PTFE en el período "t".

PIB = El producto interno bruto (a precios de 1980) observado o pronosticado exógenamente al modelo, en el período "t" o en el período "t + n" de pronóstico.

μ_t, v_t ; Términos estocásticos de las ecuaciones de regresión.

El modelo consta de dos ecuaciones simultáneas cuya forma estructural es la siguiente:

$$(C_t - C_{t-1}) = \delta (C_t^* - C_{t-1}) + \mu_t \quad (3.20)$$

$$C_t^* = \alpha + \beta \text{PIB}_t + v_t \quad (3.21)$$

Considerando el sistema de dos ecuaciones simultáneas del modelo anterior en su forma estructural, su forma reducida es:

$$C_t = A_1 + A_2 \text{PIB}_t + A_3 C_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3.22)$$

donde:

$$A_1 = \alpha\delta$$

$$A_2 = \beta\delta$$

$$A_3 = 1 - \delta$$

$$\varepsilon_t = \delta v_t + \mu_t$$

La ecuación anterior permite una identificación exacta de los coeficientes estructurales del modelo.

Los estimadores A_1 , A_2 y A_3 obtenidos por mínimos cuadrados ordinarios muestran normalmente un sesgo de una pequeña muestra, que tiende a desaparecer cuando el número de observaciones aumenta indefinidamente^(h).

^(h) Esto sólo sucederá si la hipótesis de ausencia de autocorrelación se satisface.

El análisis de regresión múltiple se usa para probar hipótesis acerca de la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes y para predicción. El modelo de regresión lineal de tres variables se puede escribir como,⁽¹¹⁾:

$$Y_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + u_i \quad (3.23)$$

La suposición adicional (a las del modelo de regresión simple) es que no hay relación lineal exacta entre las X's.

Se pueden obtener estimaciones de parámetros de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para la ecuación (3.23) minimizando la suma del cuadrado de los residuos.

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1X_{1i} - \hat{b}_2X_{2i})^2 \quad (3.24)$$

Esto da las siguientes tres ecuaciones normales:

$$\sum Y_i = n\hat{b}_0 + \hat{b}_1\sum X_{1i} + \hat{b}_2\sum X_{2i} \quad (3.25)$$

$$\sum X_{1i}Y_i = \hat{b}_0\sum X_{1i} + \hat{b}_1\sum X_{1i}^2 + \hat{b}_2\sum X_{1i}X_{2i} \quad (3.26)$$

$$\sum X_{2i}Y_i = \hat{b}_0\sum X_{2i} + \hat{b}_1\sum X_{1i}X_{2i} + \hat{b}_2\sum X_{2i}^2 \quad (3.27)$$

las cuales (cuando se expresan en forma de desviación) se puede resolver simultáneamente para \hat{b}_1 y \hat{b}_2 , lo que da:

$$\hat{b}_1 = \{(\sum x_{1i}y_i)(\sum x_{2i}^2) - (\sum x_{2i}y_i)(\sum x_{1i}x_{2i})\} / \{(\sum x_{1i}^2)(\sum x_{2i}^2) - (\sum x_{1i}x_{2i})^2\} \quad (3.28)$$

$$\hat{b}_2 = \{(\sum x_{2i}y_i)(\sum x_{1i}^2) - (\sum x_{1i}y_i)(\sum x_{1i}x_{2i})\} / \{(\sum x_{1i}^2)(\sum x_{2i}^2) - (\sum x_{1i}x_{2i})^2\} \quad (3.29)$$

luego:

$$\hat{b}_0 = \bar{y} - \hat{b}_1\bar{X}_1 - \hat{b}_2\bar{X}_2 \quad (3.30)$$

El estimador \hat{b}_1 mide el cambio en Y por variaciones unitarias en X_1 mientras se mantiene X_2 constante, \hat{b}_2 se define análogamente. Los estimadores \hat{b}_1 y \hat{b}_2 se llaman

⁽¹¹⁾ Dominick, S. Econometría. 1982.

coeficientes de regresión parcial. \hat{b}_0 , \hat{b}_1 y \hat{b}_2 son estimadores óptimos lineales insesgados (EOLI).

3.5.1. RESULTADOS DEL MODELO ECONOMÉTRICO.

Se realizaron para ese modelo alrededor de veinte pruebas tratando de obtener los mejores estimadores y, que además, resultarán estadísticamente significativos. Hemos elegido de entre el conjunto analizado la siguiente ecuación:

$$\ln C_t = -25.840 + 1.134 \ln \text{PIB}_t + 0.315 \ln C_{t-1} + 0.0361t \quad (3.31)$$

donde:

t = tiempo cifrado en periodos (histórico 1,...,26; pronosticado 26 + n).

En el Anexo B, se presenta el resultado del análisis estadístico utilizando el *software* llamado "TPS" (Time Series Processor), [18].

En la tabla 3.2 se presentan los pronósticos para la ecuación arriba descrita.

Tabla 3.2.
Pronósticos, utilizando el modelo econométrico.

Año	Período	Hipótesis: PIB 2% consumo	Hipótesis: PIB 5% consumo
1993	27	232158.098	239916.384
1994	28	242322.018	261482.110
1995	29	260426.606	294390.662
1996	30	282470.504	334847.894
1997	31	307269.445	382093.969
1998	32	334550.802	436448.999
1999	33	364359.125	498695.723
2000	34	396859.301	569877.504
2001	35	432270.766	651240.137
2002	36	470846.202	744226.522
2003	37	512865.526	850492.511
2004	38	552865.212	971932.883
2005	39	608489.761	1110713.864
2006	40	662793.527	1269311.318
2007	41	721943.571	1450554.751
2008	42	786372.381	1657677.732
2009	43	856551.052	1894375.561
2010	44	932992.717	-

Tabla 3.2. (continuación)
Pronósticos, utilizando el modelo econométrico.

Año	Periodo	Hipótesis: PIB 2% Consumo	Hipótesis: PIB 5% Consumo
2011	45	1016256.309	-
2012	46	1106950.639	-
2013	47	1205738.855	-
2014	48	1313343.283	-
2015	49	1430550.712	-
2016	50	1558218.15	-
2017	51	1697279.085	-
2018	52	1848750.311	-

3.6. PUNTO DE EQUILIBRIO

Para el cálculo del punto de equilibrio se utilizó un método analítico que parte de las ecuaciones de Costo total y de Ingresos. El método consiste en lo siguiente:

$$\text{Costo total} = \text{Ingresos} \quad (3.32)$$

$$CT = Cf + C v \times \text{No. de unidades} \quad (3.33)$$

donde:

CT = Costos totales

Cf = Costos fijos totales

Cv = Costos variables unitarios

además se sabe que:

$$I = Pv \times \text{No. de unidades} \quad (3.34)$$

I = Ingresos totales

Pv = Precio de venta

Igualando las ecuaciones:

$$Cf + C v \times \text{No. de unidades} = Pv \times \text{No. de unidades} \quad (3.35)$$

Despejando del No. de unidades:

$$(Cf / \text{No. de U.}) + \{(Cv / \text{No. de U.}) \times (\text{No. de U.})\} = Pv \quad (3.36)$$

$$\text{No. de U.} = (Cf + Cv) / Pv \quad (3.37)$$

$$\text{No de U.} = (2530 + 3400) / 6.7 \quad \{(US / lb) / (US / lb)\} = 885$$

La información de los costos fijos y variables se obtuvo del análisis económico para una planta de tetrafluoruro de polietileno (PTFE) de 1800 ton/año, descritos en el apartado 4.5. La capacidad competitiva de 1800 ton/año, se encontró consultando la referencia⁽⁹⁾.

3.7. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA

A partir de ambos modelos de regresión utilizados anteriormente, se encontraron tres alternativas para alcanzar la capacidad competitiva de la planta y, de acuerdo a los resultados que se obtuvieron, se pueden clasificar de la siguiente manera:

Optimista: Según el modelo de regresión simple para el año 2000 el mercado sería alrededor de 750 Ton/año. Es menester aclarar que el punto de equilibrio de la planta es de 885 ton/año, por lo tanto, si la capacidad competitiva es de 1800 Ton/año se podría esperar que a partir del año 2000 la planta operará al 50% de su capacidad, es decir, a 900 Ton/año, que representa, aproximadamente el punto de equilibrio económico de la planta con capacidad competitiva internacional. Así, el mercado interno consumiría 750 Ton/año y podrían exportarse 150 Ton/año.

Tomando como base lo anterior el programa de producción de la planta al 100% de su capacidad (1800 Ton/año) sería el siguiente:

⁽⁹⁾ Chemical Economics Handbook. 1992.

Tabla 3.3.
Programa de producción.

TIEMPO	PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN	MERCADO INTERNO (ton/año)	EXPORTACIÓN (ton/año)	TOTAL (ton/año)	% CAPACIDAD
1998	Construcción de la planta				
1999	Construcción de la planta				
2000	Arranque de la planta	750	150	900	50
2001	Operación de la planta	750	150	900	50
2002		970	150	1120	60
2003		970	150	1120	60
2004		970	150	1120	60
2005		1454	346	1800	100
2006		1454	346	1800	100
2007		1900	-	1800	100
2008		1900	-	1800	100
2009		1900	-	1800	100
2010		1900	-	1800	100

Medio: Esta alternativa tomó en cuenta un PIB del 5% con el que se logra llegar a la capacidad instalada en el año 2009, tan solo cuatro años de diferencia con la alternativa optimista. Cabe aclarar que para obtener estos resultados se utilizó el modelo econométrico. El punto de equilibrio económico de 900 ton/año se encuentra al finalizar el año 2003 (Anexo B).

Pesimista: En esta última alternativa, el PIB que se tomó en cuenta fue del 2% alcanzando la capacidad instalada en el 2018, trece años después de la alternativa optimista.

De la información anterior y, tomando en cuenta la alternativa de los tres escenarios, hemos retenido que la planta podría empezar a operar en el año 2001 instalando la capacidad de 1800 ton/año y considerando que operaría sólo durante dos años al 50% de ésta, que, además corresponde a su punto de equilibrio económico. Si la hipótesis media se realizará, de cualquier manera la planta operaría con un retraso de dos años, lo que augura una operación competitiva internacionalmente.

CAPÍTULO 4

RUTA TECNOLÓGICA

Para poder analizar el proceso de manufactura para el polímero y su monómero, se presenta una breve descripción de la ruta tecnológica que se desarrolla, así como de un análisis de materias primas y su proceso de manufactura.

4.1 RUTA TECNOLÓGICA PARA EL PTFE.

4.1.1. REACCIONES PRINCIPALES.

- a) El ácido fluorhídrico se hace por reacción del fluoruro de calcio con ácido sulfúrico:



b) El cloroformo reacciona con el ácido fluorhídrico en presencia de trifluoruro de antimonio como catalizador.

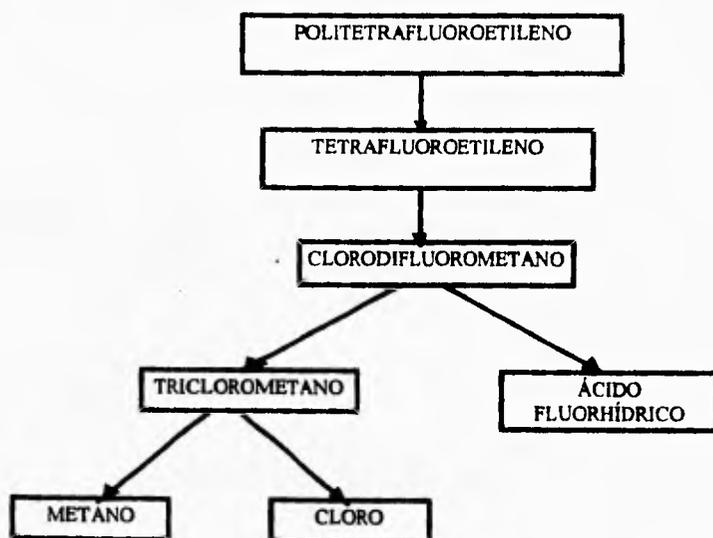


c) Finalmente, el TFE se obtiene por descomposición térmica del clorodifluorometano^(a) en una reacción continua, no catalizada, en fase gaseosa, a presión atmosférica y temperaturas entre 600 y 900°C^(b)



4.1.2. ESQUEMA DE LA RUTA TECNOLÓGICA.

De acuerdo con las reacciones descritas anteriormente, se puede esquematizar la ruta tecnológica que se sigue en la manufactura del Politetrafluoroetileno:



^(a) Se conoce como Freón®

^(b) Chemical Economics Handbook. 1992.

4.2 MATERIAS PRIMAS

4.2.1. CLOROMETANO.

PROCESOS DE MANUFACTURA

(1) Clorometanos por cloración térmica del Metano.

La planta está diseñada para maximizar la producción de CH_2Cl_2 ^(b) en relación al cloroformo y el tetracloruro de carbono como subproductos.

Las corrientes de metano y metano reciclado, cloro, cloruro de metilo reciclado y CCl_4 reciclado se alimentan a un reactor tubular de cloración que opera adiabáticamente a 475°C y 6.5 atm. La distribución de producto se controla por medio de la relación metano/cloro^(c). El efluente del reactor se enfría (se apaga) con clorometanos condensados a 204°C . El HCl y el metano se separan de la mezcla fría por condensación parcial con refrigeración seguido por una separación en una torre de enfriamiento. Los clorometanos se separan unos de otros por destilación fraccionada en una serie de columnas. Los estabilizadores se agregan al cloruro de metilo antes del almacenamiento. El metano que no reacciona se seca y se comprime para su uso de recirculación.

La distribución del producto en porcentaje en peso es de: CH_2Cl_2 (64.9%); CHCl_3 (30.4%), CCl_4 (4.7%). La eficiencia del cloro es del 97% y el metano es del 85%^(d)

2) Clorometanos por medio de la reacción de metanol y cloro.

El metanol y el hidrógeno reciclado se alimentan a un reactor de lecho de ebullición de hidroclocación que opera a 120°C y 11.2 atm. para producir cloruro de metilo. Los efluentes gaseosos pasan a través de una columna de rectificación donde el cloruro de metilo

^(b) Todo el cloruro de metilo se recicla al reactor de cloración.

^(c) A relaciones menores se obtiene un rendimiento mayor de cloroformo y CCl_4 .

^(d) Chemical Engineering Handbook, 1992.

recirculado lleva al vapor de agua hacia abajo, reaccionando el HCl con el subproducto, dimetiléter, para formar el cloruro de metilo. El exceso de HCl y el cloruro de metilo se separan en una columna rectificadora del HCl^(d). El cloruro de metilo se clora térmicamente, sin un catalizador, en un reactor tubular a 475° y 6.5 atm. bajo condiciones adiabáticas. El efluente se enfría y el HCl se separa de los clorometanos; los demás componentes se separan de manera individual en una serie de columnas fraccionadoras. El cloruro de metilo se recircula y los coproductos, cloruro de metilo^(e), cloroformo y el CCl₄ se estabilizan cuando es necesario y se almacena.

La distribución del producto en porcentaje en peso es de: CH₂Cl₂ (75.9%), CHCl₃ (21.4%), CCl₄ (2.7%). La eficiencia del cloro es del 96.4%, del metano es de 97.7%^(f)

4.2.2 CLORODIFLUOROMETANO.

PROCESO DE MANUFACTURA.

El clorodifluorometano^(g), se obtiene por reacción líquida de HF anhidro y cloroformo.

Es un proceso continuo en el cual el reactor agitado a 80°C y 11.2 atm. se alimenta con cloroformo seco, HF, cloruro de antimonio (SbCl₃), más los componentes catalíticos y las corrientes recicladas y de reflujo de la planta. El vapor del reactor entra a una columna en donde hay parte de HCl, HF y los productos fluorocarbonados que se sacan por el domo y los más pesados^(h) se recirculan al reactor. La columna tiene condensadores refrigerados como la columna siguiente de HCl. La última opera a 11.2 atm. y remueve el HCl anhidro líquido como un producto del domo. Los fondos de la columna de HCl se enfrían para formar dos fases líquidas. La fase superior⁽ⁱ⁾ se recircula al reactor; la fase inferior se lava con sosa cáustica, se seca y se destila para recuperar el producto fluorocarbonado como una

^(d) El ácido clorhídrico se recircula al reactor de hidrocloración.

^(e) Es el coproducto que se encuentra en mayor cantidad.

^(f) Conocido como Fluorocarbono 22®.

^(g) Se conocen así a los menos fluorados.

^(h) El HF se encuentra en mayor cantidad

fracción del domo. Un almacenamiento a largo plazo se lleva a cabo a presión atmosférica en tanques refrigerados a -41°C para el Fluorocarbono 22® (CHClF_2). El CHCl_3 y el HF tienen un rendimiento del 87.9% y del 89.1%, respectivamente⁽⁶⁾

4.3. COSTOS DE LAS MATERIAS PRIMAS.

4.3.1. CLORACIÓN TÉRMICA DEL METANO.

Tabla 4.1
Costos de materias primas y servicios.

	Costos unitarios	Consumo/ton	¢/Kg
Materias Primas			
Metano	8.58 ¢/NM ³	284.1 NM ³	2.45
Cloro	15.4 ¢/Kg	1.76 Ton	27.16
Sosa cáustica	9.37 ¢/Kg	0.0105 Ton	0.09
Ácido sulfúrico	6.83 ¢/Kg	0.295 Ton	2.01
Carbón activado	2.62 ¢/Kg	0.00024 Ton	0.07
Estabilizadores			0.07
Costo total			31.85
Subproductos			
HCl	5.84 ¢/Kg	2.86 Ton	16.71
Pesados	11.5 ¢/Kg	0.0302 Ton	0.35
Ácido sulfúrico	6.83 ¢/Kg	0.2939 Ton	2.01
Total de subproductos			19.07
Servicios			
Agua de enfriamiento	1.59 ¢/M ³	177 M ³	0.28
Vapor	7.45 ¢/Ton	1.6 Ton	1.18
Agua de proceso	20.6 ¢/M ³	2 M ³	0.04
Electricidad	4 ¢/KW	348 KW	1.39
Gas inerte	1.57 ¢/NM ³	0.95 NM ³	NEGL
Total			2.89

Fuente: *Chemical Economic Handbook*, 1992.

4.3.2. CLOROMETANOS DE METANOL Y CLORO

Tabla 4.2.
Costos de materias primas y servicios.

	Costos unitarios	Consumo/ton	¢/Kg
Materias Primas			
Metanol	11.3 ¢/Kg	0.358 Ton	4.03
Cloro	15.4 ¢/Kg	0.96 Ton	14.81
Estabilizadores			0.09
Costo total			18.93
Subproductos			
HCl			
Clorometanos pesados	3.57 ¢/Kg	0.465 Ton	1.65
Total de subproductos	11.5 ¢/Kg	0.025 Ton	0.29
			1.94
Servicios			
Agua de enfriamiento	1.59 ¢/M ³	165 M ³	0.26
Vapor	7.45 ¢/Ton	2.3 Ton	1.74
Agua de proceso	20.6 ¢/M ³	0.37M ³	0.01
Electricidad	4 ¢/KW	419 KW	1.68
Gas inerte	1.57 ¢/NM ³	0.95 NM ³	NEGL.
Total			3.69

Fuente: Chemical Economics Handbook, 1992

4.3.3. CLORODIFLUOROMETANO

Tabla 4.3
Costos de materias primas y servicios.

	Costos unitarios	Consumo/ton	¢/Kg
Materias primas			
Cloroformo	76.1 ¢/Kg	1.55 Ton	117.9
Ácido fluorhídrico	1.37 \$/Kg	0.527 Ton	72.02
Cloruro de antimonio	7.94 \$/Kg	0.0012 Ton	0.95
Cloro	15.4 ¢/Kg	0.0004 Ton	NEGL
Sosa cáustica	9.37 ¢/Kg	0.0191 Ton	<u>0.18</u>
Costo total			191.05
Subproductos			
HCl			
Total de subproductos	14.9 ¢/Kg	0.86 Ton	<u>12.81</u>
			12.81
Servicios			
Agua de enfriamiento	1.59 ¢/M ³	104 M ³	0.17
Vapor	7.45 \$/Ton	1.3 Ton	0.98
Electricidad	4 ¢/KWH	648 KWH	<u>2.59</u>
Total			3.74

Fuente: *Chemical Economics Handbook*, 1992

4.4 VALOR AGREGADO DE LA CADENA

La determinación del valor agregado de una cadena es un poderoso elemento para el análisis de la industria petroquímica, ya que permite encontrar fortalezas y debilidades debidas al tipo de integración existente y a las condiciones del entorno, para esto último es

útil conocer los costos de la materia prima que dan lugar al valor del producto en cada parte de la cadena.

Además permite sugerir mejoras en algunos procesos de una cadena que causen un incremento desproporcionado en el valor del producto, el cual es un parámetro de comparación entre la industria nacional y la extranjera y muestra qué tan eficiente es cada una, lo que permite realmente evaluar la competitividad.

Respecto al análisis de cadenas en la industria petroquímica, al obtener el valor agregado del último producto de ésta, se puede calcular el valor agregado en cada paso (proceso de producción). Determinando en cual de ellos se incrementa más este valor, es posible encontrar la componente del valor del producto que corresponda al mayor porcentaje.

De acuerdo al esquema de la ruta tecnológica y los costos para cada proceso, se ha calculado al valor agregado de la cadena que se inicia con metano y cloro y termina con el PTFE. En la tabla 4.4, se proporcionan los cálculos para el valor agregado de la cadena mencionada.⁽¹⁷⁾

Tabla 4.4
Valor agregado de la cadena

	Valor del producto (US\$/Kg)	Valor agregado ^(a) (US\$/Kg)	Valor agregado sólo por el proceso (US\$/Kg)
Cloroformo	0.90	0.773	0.773
Clorodifluorometano	4.21	3.41	2.21
Tetrafluoroetileno	10.80	7.56	3.6
Politetrafluoroetileno	15.92	8.66 ^(b)	5.06

⁽¹⁷⁾ Escobar T., Carlos. Sistema de modelos para la planeación de la industria petroquímica en México. 1995

^(a) El valor agregado es para toda la cadena desde básicos hasta el compuesto correspondiente. Todas las plantas operan al 100% de su capacidad.

^(b) Este es el valor agregado total de la cadena.

$$\text{Valor del producto} = \text{Costo total de producción} + \text{ROI} \quad (4.1)$$

$$\text{Valor Agregado} = \text{Valor del producto} - \text{Materias primas compradas fuera de la cadena} \quad (4.2)$$

4.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

4.5.1. MÉTODO DE TASA INTERNA DE RECUPERACIÓN (TIR)⁽¹⁰⁾

En todos los criterios de decisión, se utiliza alguna clase de índice, medida de equivalencia, o base de comparación capaz de resumir las diferencias de importancia que existen en las alternativas de inversión. Es importante distinguir este criterio de decisión y una base de comparación. Esta última es un índice que contiene cierta clase de información sobre la serie de ingresos y gastos que da lugar a una oportunidad de inversión.

La tasa interna de retorno, como se le llama frecuentemente, es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado.

Esta definida como: *la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, el valor futuro, o el valor anual equivalente de una serie de ingresos y egresos.*

Es decir, la tasa interna de retorno de una propuesta de inversión, es aquella tasa de interés i^* que satisface cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{t=0}^n S_t / [(1 + i^*)^t] = 0 \quad (4.3)$$

$$\sum_{t=0}^n S_t (1 + i^*)^{n-t} = 0 \quad (4.4)$$

⁽¹⁰⁾ Coss Bu, Raúl. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. 1986.

$$\sum_{t=0}^n S_t (P/F, i^*, t) (A/P, i^*, n) = 0 \quad (4.5)$$

donde:

S_t = flujo de efectivo neto del periodo t .
 n = vida de la propuesta de inversión.
 t = periodos.

$$P/F = 1 / (1+i)^n$$

donde:

i = tasa de interés.
 P = cantidad presente a invertir.
 F = cantidad futura.
 n = número de período.

$$A/P = \{(i (1+i)^n) / ((1+i)^n - 1)\}$$

donde:

A = cantidad que se recibiría al final de cada período.
 P = cantidad invertida en el tiempo cero.
 n = número de período.
 i = tasa de interés.

En la mayoría de las situaciones prácticas es suficiente considerar el intervalo $-1 < i^* < \infty$ como ámbito de la tasa interna de recuperación, ya que es muy poco probable que en un proyecto de inversión se pierda más de la cantidad que se invirtió.

En términos económicos, la tasa interna de recuperación representa el porcentaje o la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión. El saldo no recuperado de una inversión en cualquier punto del tiempo de la vida del proyecto, puede ser visto como la porción de la inversión original que aún permanece sin recuperar en ese tiempo. El saldo no recuperado de una inversión al tiempo t , se evalúa de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_t = \sum_{j=0}^t S_j (1+i^*)^{t-j} \quad (4.6)$$

CRITERIO DE ACEPTACIÓN.

Por lo regular, el criterio de aceptación, que se emplea con el método del TIR, consiste en comparar éste con la tasa de rendimiento requerida, también conocida como tasa límite o mínima. Si la primera excede la tasa requerida, se acepta el proyecto; en caso contrario se rechaza. Si la tasa de rendimiento requerida es de 12% y se utiliza este criterio, la propuesta de inversión que se estudió antes será aceptada. Si la tasa de rendimiento requerida es el rendimiento que los inversionistas esperan que gane la empresa en el proyecto, la aceptación de éste con una tasa interna de rendimiento que exceda la tasa de rendimiento requerida dará por resultado un aumento en el precio de mercado de la acción, pues la empresa acepta un proyecto con un rendimiento mayor del que se requiere para mantener el actual precio de mercado de acción.

Este proyecto tomará como base una tasa de 8.79% obtenida de las tasas *Libor* y *Prime*, tasas internacionales de referencia⁽¹³⁾⁽²²⁾.

El análisis de factibilidad consistió en calcular la Tasa Interna de Recuperación (TIR) tomando como base el costo total del equipo considerando, además, las siguientes premisas (ver Anexo C).

⁽¹³⁾ EL FINANCIERO, agosto 8, 1995.

⁽²²⁾ EXCELSIOR, agosto 12, 1995.

ESTA TESIS HA SIDO
CUBRIDA DE LA BIBLIOTECA

Tabla 4.5
Costo del equipo de proceso.

Equipo	Costo (\$1,000)	Exponente de capacidad	
		Superior	Inferior
Reactores	405	0.49	0.49
Tanques y recipientes	653	0.45	0.43
Intercambiadores de calor	26	0.43	0.38
Compresores	20	0.72	0.72
Equipo especial	1220	0.76	0.65
Equipos varios	110	0.37	0.32
Bombas	155	0.13	0.10
Total	2589	0.59	0.51

Fuente: Chemical Economics Handbook. 1992.

Para actualizar el costo del equipo se tomaron los índices de Marshall & Swift⁽⁹⁾ del año 1994:

1992 943.1
1994 998.1

$$(\text{Costo total del equipo})_{94} = \frac{(\text{Índice de M \& S})_{94}}{(\text{Índice de M \& S})_{92}} (\text{Costo total del equipo})_{92} \quad (4.7)$$

$$(\text{Costo total del equipo})_{94} = (998.1/943.1) \times (2,589,000)$$

$$(\text{Costo total del equipo})_{94} = \text{U. S. \$ 2,739,162}$$

⁽⁹⁾ Chemical Engineering, January, 1995.

PREMISAS

Los porcentajes sobre la inversión total en equipo para obtener la inversión fija se obtuvieron tomando en cuenta que la planta es un proceso para un fluido, cuyos productos finales son los diferentes tipos de PTFE y los cuales fueron los siguientes⁽⁴⁾

Costos sobre el monto en "Adquisición de equipo"⁽⁵⁾

1. Instalación de equipo	45%
2. Instrumentación y control	9%
3. Tuberías	16%
4. Instalación eléctrica	10%
5. Edificios	25%
6. Servicios	40%
7. Terreno	6%
8. Mejoras al terreno	13%
9. Ingeniería y supervisión	33%
10. Materiales de construcción	39%
11. Contratistas	17%
12. Contingencias	34%

Otras consideraciones hechas fueron las siguientes:

13. Mano de obra directa	2% de Ingresos de ventas.
14. Supervisión	1% de Ingresos
15. Mantenimiento	7% inversión en equipo
16. Mano de obra indirecta	1% de ingresos
17. Gastos de administración	1% de ingresos
18. Gastos de venta y distribución	1.5% de ingresos

⁽⁴⁾ Peters & Timmerhaus. Plant design and economics for chemical engineers.

⁽⁵⁾ Chemical Economics Handbook (1992)

19. Las ventas se efectúan con 15 días de crédito.
20. El inventario de materia prima es de 15 días sobre el costo de materia prima.
21. El inventario en producto terminado es 15 días valorado al costo de producción.
22. Se espera obtener la materia prima con un mes de crédito.
23. Se tendrá en caja un mes de los sueldos y salarios del personal de la empresa.
24. Pago de seguros industriales de 5% sobre la inversión de equipo de proceso.
25. Depreciación anual del 10% sobre la inversión fija.
26. Se pretende operar la planta sólo para cubrir la demanda los primeros tres años y posteriormente operarla al 100%^(d).

4.5.2. MÉTODO DEL VALOR PRESENTE⁽¹⁰⁾

El método del valor presente es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado.

A continuación se muestra la fórmula que se utiliza para evaluar el valor presente:

$$VPN = S_0 + \sum_{t=1}^n [S_t / (1+i)^t] \quad (4.8)$$

donde:

VPN = Valor presente neto

^(d) 70% el primer año, 80% el segundo, 90% en el tercero y 100% del cuarto en adelante.

⁽¹⁰⁾ Coss Bu, Raúl. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. 1986.

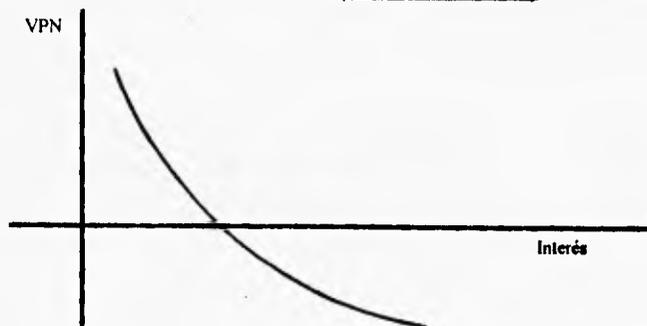
- S_0 = Inversión inicial
- S_t = Flujo de efectivo neto del período t
- n = Número de períodos de vida del proyecto
- i = Tasa de recuperación mínima aceptable

La fórmula anterior tiene una serie de características que la hacen apropiada para utilizarse como base de comparación capaz de resumir las diferencias más importantes que se derivan de las diferentes alternativas de inversión disponible. Primero, la fórmula anterior considera el valor del dinero a través del tiempo al seleccionar un valor adecuado de i .

Además de la característica anterior, el método del valor presente tiene la ventaja de ser siempre único, independientemente del comportamiento que sigan los flujos de efectivo que genera el proyecto de inversión. Esta característica del método del valor presente lo hace ser preferido para utilizarse en situaciones en que el comportamiento irregular de los flujos de efectivo, origina el fenómeno de tasas múltiples de rendimiento.

Finalmente, conviene mencionar que en la mayoría de los casos, el valor presente para diferentes valores de i , se comporta como aparece en la figura 4.1.

Fig. 4.1
Valor presente neto como una función de la tasa de interés
(caso más frecuente)



Lo anterior se debe al hecho de que generalmente todos los proyectos de inversión demandan desembolsos en su etapa inicial y generan ingresos en lo sucesivo, sin descartar la posibilidad de encontrar proyectos de inversión con gráficas completamente diferentes a la anterior.

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

Siempre que el valor presente de un proyecto sea positivo, la decisión será emprenderlo. Sin embargo, sería conveniente analizar la justificación de esta regla de decisión. Primero, cuando el valor presente es positivo, significa que el rendimiento que se espera obtener del proyecto de inversión es mayor al rendimiento mínimo requerido por la empresa (TREMA). También, cuando el valor presente es positivo, significa que se va a incrementar el valor del capital de los accionistas.

Cuando el valor presente es negativo, entonces, el proyecto debe ser rechazado. Lo anterior significa que cuando la TREMA es demasiado grande, existen muchas posibilidades de rechazar los nuevos proyectos de inversión y, por el contrario, cuando TREMA es pequeña hay mayor probabilidad de aceptar dicho proyecto.

El valor presente se calcula tomando en cuenta los valores obtenidos para la tasa interna de retorno, como son: el costo del equipo, así como el flujo neto de efectivo para los siguientes 10 años y la tasa mínima atractiva que es de 25%.

$$\begin{aligned} \text{VPN} = & -2739.162 - (6993.5863/1.25) + (2783.5196/1.25^2) + (3220.0832/1.25^3) + \\ & (3656.6467/1.25^4) + (3656.6467/1.25^5) + (3656.6467/1.25^6) + (3656.6467/1.25^7) + \\ & (3656.6467/1.25^8) + (3656.6467/1.25^9) + (3656.6467/1.25^{10}) \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \text{M \$ } 1014.3987$$

Cualquier proyecto de inversión debe utilizar tasas de interés, si se trata de utilizar como técnica de evaluación el valor presente neto o debe compararse con tasas de interés, si se trata de la TIR, que representen el "costo de oportunidad" del capital de la empresa o de sus accionistas. El costo de oportunidad se define como el valor del sacrificio al que el capital a invertirse hubiese podido ser asignado a otros proyectos alternativos. Este costo de oportunidad representa la tasa de recuperación mínima atractiva del costo del capital de la empresa o sus accionistas comparable con las tasas internacionales como la *Prime* o la *Libor* más un premio adicional por riesgo por invertir en el proyecto que se está considerando. Puede, también, compararse con los rendimientos de las acciones de empresas similares que cotizan en la Bolsa de Valores o con cualquier otra tasa de financiamiento externo, es decir, el costo de la intermediación financiera.

CAPÍTULO 5

INGENIERÍA BÁSICA

En este capítulo se proporcionan los lineamientos principales de la Ingeniería Básica de los procesos para la producción de tetrafluoroetileno y el PTFE. La información y cálculos se obtienen gracias a la publicación: *Chemical Economics Handbook* de Stanford Research Institute, el cual nos fue proporcionada a través de la Facultad de Química^(*).

^(*) *Chemical Economics Handbook*. 1992

5.1 TETRAFLUOROETILENO

5.1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

BASES DE DISEÑO

CAPACIDAD DE LA PLANTA:

10 MM lb/año (4,500 ton/año)

a un factor de operación de 0.9

ESQUEMA DEL PROCESO:

- 1.- Pirólisis del Clorodifluorometano (CDFM), en presencia de un diluyente de vapor en un proceso continuo.
- 2.- Efluente del reactor de enfriamiento con reciclado de ácido clorhídrico acuoso.
- 3.- Enfriamiento y condensación parcial del flujo del producto para remover el ácido clorhídrico acuoso. Depurando el flujo de gas residual^(a), y secando con ácido sulfúrico concentrado.
4. Compresión del flujo del producto hasta 72 psia y condensa a -80°C.
5. Ventilar gases inertes y destilar el producto líquido en cuatro columnas en serie para recuperar y purificar CDFM (materia prima) para reciclar y TFE (producto) para alimentar la unidad de polimerización.

CONDICIONES DEL REACTOR.

La pirólisis^(b) se lleva a cabo adiabáticamente. El CDFM se precalienta a 480°C (896°F), el vapor es precalentado a 1050°C (1922°F) y la mezcla de reacción deja al reactor a 750°C (1382°F). La velocidad espacial del CDFM es de 2600 hr⁻¹ calculada a CSTP^(c). La razón de vapor a CDFM es 5.67. La presión del reactor es de 15 psia. El tiempo de

^(a) Se produce agua.

^(b) En este caso es endotérmica

^(c) Condiciones estándar de temperatura y presión.

residencia es de 0.06 seg a las condiciones del reactor. La razón de la superficie al volumen del reactor es de 14 m.

Conversión del reactor: 70% teórico.

Selectividad del reactor: 98%

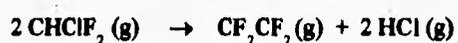
Rendimiento total: 96.8%

Pureza del producto: 100% en peso.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El CDFM del tanque T-101A (o B) se une a la corriente de reciclado de T-201A (o B). La corriente (o flujo) combinada se vaporiza en E-101 y se une a otra que viene de S-202 antes de ser precalentada a 480°C (896°F) en el calentador H-101. Se alimenta vapor a baja presión (50 psia) al calentador H-102 y se precalienta a 1050°C (1922°F). El vapor y el CDFM se mezclan^(d) y se alimentan al reactor de TFE, R-101.

La reacción principal que se lleva a cabo es la siguiente:



$$\Delta H^\circ_{298} (\text{estimado}) = 30 \text{ Kcal/g-mol de TFE (endotérmica)}$$

$$\Delta H^\circ_{1023} (\text{estimado}) = 32 \text{ Kcal/g-mol de TFE (endotérmica)}$$

La reacción está en equilibrio y se hace reversible a bajas temperaturas. A una temperatura de salida de 750°C (1382°F) y otras condiciones de reacción en el diseño, la conversión de CDFM debe estar alrededor del 70 % y la selectividad hacia TFE debe ser

^(d) La razón molar del vapor al CDFM es de 5.67:1

mayor al 98%. La baja relación de la superficie al volumen en el reactor, 14 m, debe reducir la formación de HF y CO^(d) virtualmente a cero.

El reactor es pequeño, 1 ft de diámetro y 6 ft de largo (0.3 x 1.8 m) con un tiempo de residencia real de 0.06 seg.

La mezcla caliente de reacción que sale del reactor se junta con una corriente reciclada de ácido clorhídrico acuoso para enfriar rápidamente la mezcla de reacción y "congelar" el equilibrio químico. La mezcla se enfría después a 115°C (239°F) en el enfriador E-102 y la mayor parte del agua y del ácido clorhídrico se condensan en el condensador parcial E-103. La mezcla de gas/líquido en E-103 se separa en fases en el tanque de separación V-101. La fase líquida es 18% en peso de ácido clorhídrico. La corriente se divide: una parte se recircula para enfriar la corriente efluente del reactor, como se describe previamente, el resto se manda a los tanques T-102. La fase de vapor del tanque de separación, V-101, es principalmente TFE y CDFM junto con cantidades pequeñas de materias orgánicas e inorgánicas incluyendo HCl. La corriente se lava con agua en un absorbedor de ácido clorhídrico C-101 para remover el HCl. La corriente de gas de C-101 se lava con ácido sulfúrico concentrado (98% en peso) en C-102^(e). El ácido sulfúrico húmedo (94% en peso) se almacena en los tanques T-104 A&B. La corriente orgánica seca y libre de HCl de C-102 se combina con una corriente pequeña de reciclado del secador S-201 que contiene TFE y la corriente combinada se alimenta al compresor K-201, un compresor centrífugo de 4 pasos con enfriador interetapas. La corriente sale del compresor a 72 psia y 54°C (130°F) y se enfría a 38°C (100°F) en E-201 se condensa parcialmente en E-202 a 80°C (112°F). Las pequeñas cantidades de vapores y gases no condensados se separan en el tanque de separación V-201 y son enviados al área de tratamiento de residuos. El líquido condensado se alimenta a la columna de restos ligeros C-201, la cual opera con una presión y temperatura, en la parte superior, de 68 psia y 42°C (-44°F). Los restos ligeros que contienen aproximadamente 98.5% en peso de TFE

^(d) Se forman por una reacción secundaria catalizada superficialmente.

^(e) Esto es con el fin de remover una pequeña cantidad de vapor de agua presente en la corriente de gas.

son removidos en C-201 y enviados a un sistema de absorbedor/destilador/depurador C-205/C-206/C-207 para recuperar la mayoría del TFE para reciclado. La corriente pesada de C-201 se alimenta a la columna de TFE C-202. Una corriente de reciclado⁽¹⁾ de CDFM de T-201 A(o B) también se alimenta a C-202. La corriente de reciclado, teóricamente mejora la eficiencia de la columna en proveer un TFE de calidad de polimerización. Así como la C-201, la columna C-202 también opera a una presión y temperatura, en la parte superior, de 68 psia y -42°C (-44 °F). El TFE destilado es virtualmente 100% puro y se envía a los tanques de TFE T-205 A&B.

El terpeno B⁽²⁾, se agrega a los tanques de TFE para inhibir las reacciones de polimerización. En el diseño, el terpeno B también se agrega a los tambores de reflujo en las columnas C-201 y C-202 como protección adicional para la polimerización⁽³⁾.

El terpeno es ligeramente soluble en TFE, 550 ppm a 25°C (77°F) y 50 ppm a 45°C (-49°F). Debido a esto, el terpeno tenderá a formar una capa líquida superior en los tambores de reflujo⁽⁴⁾. La corriente pesada de C-202 se alimenta a la columna C-203. Esta columna opera a una presión elevada de 245 psia de tal manera que se pueda utilizar agua, para enfriar, en lugar de un refrigerante en el condensador de la columna. Usar agua de enfriamiento no se considera una buena práctica en las columnas C-201 y C-202 por el riesgo de explosiones de TFE a presiones por encima de 0.5 MPa, 72.4 psia. La corriente pesada de C-203 se envía al tratamiento de residuos. El destilado de C-203 se alimenta a la columna de CDFM, C-204, la cual opera a 235 psia. En la columna C-204, el destilado es principalmente un azeótropo del CDFM y hexafluoropropileno. El destilado se envía a un sistema absorbedor/destilador/depurador, C-208/C-209/C-210, para recuperar el CDFM para reciclado. En el primer sistema absorbedor/destilador/depurador, C-205/C-206/C-207, los restos ligeros de la columna de ligeros C-201, son vaporizados por intercambio de calor

⁽¹⁾ Esta corriente, teóricamente, mejora la eficiencia de la columna en proveer un TFE de calidad de polimerización.

⁽²⁾ Una mezcla de Dipenteno y Terpinoleno

⁽³⁾ No es probable debido a la temperatura utilizada en esas columnas.

⁽⁴⁾ En estado estable, la cantidad de terpeno que se alimenta a los tambores de reflujo se disuelve en el TFE y sale de la columna en el destilado y en los residuos

indirecto con una corriente de metanol en E-211 y entra al absorbedor C-205 cerca del fondo. Una corriente líquida de metanol frío⁽¹⁾ (-26 °C (-15°F)) se alimenta en la parte superior del empaque de C-205. El metanol frío que deja el fondo de C-205 intercambia calor con una corriente de metanol reciclado del destilador C-206 y se alimenta a C-206. La corriente pesada del destilador C-206 contiene algo de terpenos adicionados a los restos ligeros. La concentración del terpeno permite aumentar la corriente de metanol circulante y una pequeña corriente de purga de metanol se remueve para balancear la rapidez a la cual el terpeno se adiciona al sistema. La corriente de metanol que permanece después que la corriente de purga se desecha, se enfría por un cambiador de calor en E-211 y E-212 antes de volver a entrar al absorbedor C-205. La corriente de gas de TFE del absorbedor T-205 se alimenta en el fondo del empaque en el depurador C-207. Se agrega agua en la parte superior del empaque de C-207 y la pequeña cantidad de metanol recogido por el TFE en C-205 se remueve. La corriente de agua del fondo de C-207 se manda al tratamiento de residuos. El TFE de la parte superior (gas) del C-207 pasa a través de un secador S-201 y se recicla al compresor K-201.

Una operación similar se lleva a cabo con el segundo sistema absorbedor/destilador/depurador, C-208/C-209/C-210, para recuperar el CDFM de la corriente azeotrópica de CDFM/hexafluoropropileno de C-204.

La corriente azeotrópica se vaporiza de E-215 y se alimenta en el fondo del empaque del absorbedor C-208. El metanol líquido a 16°C (61°F) se alimenta en la parte superior del empaque. En este caso, la mayoría del CDFM se absorbe por el metanol y la mayoría del hexafluoropropileno pasa y se manda a tratamiento residual. La corriente de metanol del fondo del absorbedor se alimenta al destilador C-209 y se destila el CDFM. Las condiciones se ajustan para que el CDFM deje el tambor de reflujo de C-209 como vapor y entre al depurador C-210. Se alimenta agua a C-210 para remover las pequeñas cantidades de metanol en el CDFM. El agua sale por abajo de C-210 y se manda a

⁽¹⁾ Absorbe preferencialmente la mayoría de las impurezas en la corriente de restos ligeros y permite el paso de la mayor parte del TFE. Las impurezas volátiles se destilan del mismo y se envían a tratamiento de desechos.

tratamiento de residuos. El CDFM en la parte superior de C-210 se seca en el secador S-202 y se recircula a H-101 en la primera sección de la planta.

Los tanques generales de servicios T-203 A&B están previstos para materiales fuera de especificaciones u otros propósitos temporales.

Tabla 5.1
Servicios auxiliares del TFE.
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
 10 MM lb/año (4,500 ton/año)
 a un factor de operación de 0.9

CONSUMO PROMEDIO	UNIDADES	TOTAL EN LÍMITES DE BATERIA	SECCIÓN 100	SECCIÓN 200
Agua de enfriamiento	GPM	1340	800	540
Agua de proceso	GPM	2	1	1
Vapor a 35 psig	M Lb/hr	11	4	7
Electricidad	KW	34	2	32
Gas natural	MM BTU/hr	5	5	-
Gas inerte, alta presión	MSCF/hr	4	2	2
Refrigeración, 0°F	Tons.	2	-	2
Refrigeración, -55°F	Tons.	74	-	74
Refrigeración, -120° F	Tons.	28	-	28
DEMANDAS PICO				
Agua de enfriamiento	GPM	1600	960	640
Vapor, 35 psig	M Lb/hr	14	5	9
Refrigeración, -55°F	Tons.	89	-	89
Refrigeración, -120° F	Tons.	33	-	33

Fuente: *Chemical Economics Handbook*, 1992.

Tabla 5.2
Corrientes de desecho del TFE
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
10 MM lb/año (4,500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

NÚMERO DE CORRIENTE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD DE FLUJO (lb/hr)	COMPOSICIÓN
18	Gas de venteo de V-201	Máx. de 7.7 de orgánicos	N ₂ , TFE, CDFM, Trifluorometano y trazas de CO
25	Fondos pesados de C-203	26.2	CDFM, octafluorociclobutano, terpeno, diclorodifluorometano, clorotetrafluorometano, clorohexafluoropropano y hexafluorociclopropano
31	Corriente gaseosa de la torre de destilación C-206	9.4	TFE, trifluorometano y metanol
34	Corriente de salida de agua del depurador, C-207	102.0	Agua conteniendo una pequeña cantidad de metanol
40	Corriente gaseosa del absorbedor, C-208	8.2	Hexafluoropropileno, TFE, metanol, CDFM, trifluoroetileno
44	Corriente de salida de agua del depurador, C-210	52.7	Agua conteniendo una pequeña cantidad de metanol
51	Corriente de purga de metanol de la torre de destilación, C-206	3.1	Metanol y una pequeña cantidad de Terpeno B
56	Exceso de Terpeno de los tanques de TFE, T-205 A&B	6.2	Terpeno y posibles cantidades de productos de oxidación de Terpeno

Fuente: Chemical Economics Handbook, 1992.

Tabla 5.3
Inversión Total de Capital del TFE
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
10 MM lb/año (4,500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

	EXPONENTE DE CAPACIDAD		
	COSTO (\$1000)	SUPERIOR	INFERIOR
EQUIPO A LÍMITE DE BATERÍA			
REACTORES	450	0.16	0.14
COLUMNAS	765	0.21	0.17
RECIPIENTES + TANQUES	208	0.45	0.39
INTERCAMBIADORES DE CALOR	656	0.59	0.54
HORNOS	108	0.78	0.78
COMPRESORES	41	0.75	0.75
EQUIPO ESPECIAL	26	0.43	0.38
BOMBAS	216	0.14	0.1
TOTAL	2470	0.37	0.3
COSTOS DIRECTOS DE INSTALACIÓN	3985	0.18	0.14
COSTOS DIRECTOS	2644	0.21	0.17
EQUIPO SIN CÉDULA, 10%	910	0.24	0.19
INVERSIÓN A LÍMITE DE BATERÍA	12511	0.24	0.19
INSTALACIÓN OFF-SITE			
AGUA CLARIFICADA	189	0.4	0.2
AGUA DE ENFRIAMIENTO	275	0.92	0.92
AGUA DE PROCESO	96	0.49	0.32
AGUA DE ALIMENTACIÓN AL HERVIDOR	221	0.4	0.2

Fuente: Chemical Economics Handbook, 1992.

Tabla 5.3 (continuación)
Inversión Total de Capital del TFE
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
10 MM lb/año (4,500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

	COSTO (\$1000)	EXPONENTE DE CAPACIDAD	
		SUPERIOR	INFERIOR
VAPOR	635	0.7	0.92
REFRIGERACIÓN	1436	0.71	0.32
GAS INERTE	138	0.56	0.2
TANKAGE	1579	0.66	0.4
SERVICIOS Y ALMACENAMIENTO	4468	0.67	0.71
SERVICIOS GENERALES	2895	0.39	0.29
TRATAMIENTO DE DESECHOS	751	0.23	0.18
TOTAL	8114	0.54	0.41
CONTINGENCIA, 25%	2029	0.54	0.41
INVERSIÓN OFF-SITE	10143	0.54	0.41
TOTAL DE CAPITAL FIJO	22654	0.38	0.28

Fuente: Chemical Economics Handbook, 1992.

Tabla 5.4.
Costos directos del TFE por sección
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
10 MM lb/año (4,500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

	SECCIÓN 100	SECCIÓN 200
MATERIA PRIMA		
CDFM	17865	-
Ácido sulfúrico (98% en peso)	126	-
Terpeno	-	18
Metanol	-	3
TOTAL MATERIA PRIMA	17991	21
SUBPRODUCTOS		
Ácido Clorhídrico (18% en peso)	-	-
Ácido sulfúrico (94% en peso)	-123	-
TOTAL SUBPRODUCTOS	-123	-
SERVICIOS		
Agua de enfriamiento	24	16
Vapor, 150 psig	87	153
Electricidad	1	9
Gas Natural	75	-
Gas inerte, alta presión	7	7
Refrigerante, 0°F	-	3
Refrigerante, -55°F	-	175
Refrigerante, -120°F	-	80

Fuente (8). Chemical Economics Handbook, 1992.

Tabla 5.4. (continuación)
Costos directos por sección
CAPACIDAD DE LA PLANTA:
10 MM lb/año (4,500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

	SECCIÓN 100	SECCIÓN 200
TOTAL DE SERVICIOS	194	443
MANO DE OBRA		
Operacional	210	630
Mantenimiento	45	155
Laboratorio de Control	42	126
TOTAL MANO DE OBRA	297	911
MATERIALES DE MANTTO.	67	233
SUPLEMENTOS OPERATIVOS	21	63
COSTOS DIRECTOS TOTALES	18447	1671

Fuente (8). Chemical economica handbook, 1992.

5.2. POLITETRAFLUOROETILENO

5.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

BASES DE DISEÑO

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año

a 0.90 como factor de corriente

ESQUEMA DEL PROCESO:

1. En los sistemas de desoxigenación, preparar soluciones separadas de:
 - a) Acido cítrico, Tryton X-100 y perfluorooctanoato de amonio en agua desionizada.
 - b) Persulfato de amonio en agua desionizada.
2. Desoxigenar el reactor de polimerización con una serie de evacuaciones y purgas con nitrógeno y cargar el reactor con el ácido cítrico/Tryton X-100/perfluorooctanoato de amonio calentada a 65°C (149°F).
3. Agregar la solución de persulfato de amonio (iniciador) y presurizar el reactor a 250 psia con el vapor de TFE.
4. Mantener la presión del reactor con adiciones de TFE durante el período de reacción. Agitar el contenido del reactor a 600 rpm.
5. Detener la adición del reactor al final del período de reacción, ventilar el reactor y purgar con nitrógeno. Pasar el contenido del recipiente y el agua de los lavados a través de un filtro para remover las adhesiones del polímero. Pasar el polímero restante a través de un cortador para darle el diámetro al polímero entre 400-700 μm . Después de algunas operaciones de adición, incluyendo el desagüe y el secado, se obtiene un polímero granular, que se convierte en un polímero de polvo fino, un aglomerado o un preaglomerado de PTFE.

Condiciones de Reacción: Ciclo batch de 4 hrs., presión de polimerización (TFE) cerca de 250 psia, temperatura de reacción 65°C (149°F) y tiempo de reacción aproximado de 2 hr.

Conversión: 92.4% la conversión por batch de TFE.
98.9% la conversión de todo el TFE, 1.1 % de TFE perdido.

Selectividad: 99.2% de TFE a PTFE.
0.8% de TFE a adhesiones de PTFE.

*POLITETRAFLUOROETILENO DE TETRAFLUOROETILENO POR MEDIO DEL
PROCESO DE SUSPENSIÓN.*

El diseño es para una unidad flexible de producción por lotes (batch) suficiente para fabricar 4 millones de lb por año (1800 ton/año) de PTFE y convertirlo en 4 millones de lb/año de cualquiera de sus 3 clases: granular, dispersión acuosa, polvo fino.

El diseño se basa, en su mayoría, en la información de las cuatro patentes de DuPont y una patente de Pennsalt en la fabricación de PTFE.

Como se muestra en el diagrama de flujo del proceso^(c), el agua desionizada se prepara en la unidad DI de agua, S-101, y se almacena en los tanques T-101 A & B. Esta agua se alimenta al tanque de carga inicial, V-101, junto con pequeñas cantidades de perfluorooctanoato de amonio^(d), ácido cítrico, y Tryton X-100^(e). El contenido del recipiente V-101 se calienta a 65°C (149°F), se transporta con una bomba de vacío, K-101, y se lava con nitrógeno. El bombeo y la operación de lavado con nitrógeno se repite varias veces hasta que se desoxigene el sistema. El contenido de V-101 ya está disponible para suministrarlo a la carga inicial de los reactores de PTFE, R-101 A & D. El recipiente V-101 opera en un ciclo batch de 8 hr.

^(c) Ver ANEXO E.

^(d) Surfactante iónico.

^(e) Surfactante no iónico.

El agua desionizada se alimenta al recipiente de la solución iniciadora V-102. También se alimenta una pequeña cantidad de persulfato de amonio a V-102. Este recipiente opera en un ciclo batch de 48 hr. y su contenido está disponible para inyectarlo a los reactores de PTFE, R-101 A & D. El terpeno^(k) se alimenta en los tanque T-102 A & B. Todos estos recipientes se vacían y se lavan con nitrógeno^(l).

El TFE del tanque de almacenamiento del producto de la planta adyacente de TFE se alimenta al tanque de balance de TFE, T-103. Este tanque se mantiene en las cercanías de -12°C (10°F), primeramente, por el flujo de entrada de TFE a -42°C (-44°F) de la planta de TFE y una gran corriente de recirculación de TFE proveniente de el vaporizador, V-103, con una temperatura de 19°C (66°F). De cualquier modo, el T-103 está equipado con un suministro, en forma de espiral, de refrigeración para asegurar que la temperatura en el tanque no pase de -10°C (14°F). El terpeno de T-102 A (o B) también se alimenta al T-103, y al ser ligeramente soluble en el TFE, forma una capa superior^(m) en T-103. La corriente de TFE de la planta que entra a T-103 a -42°C (-44°F) contiene cerca de 52 ppm de terpeno disuelto. De cualquier manera, la concentración en el TFE de terpeno disuelto a -12°C (10°F) es, aproximadamente 180 ppm.

Una corriente líquida de T-103, contiene cerca de 180 ppm de terpeno y se alimenta al evaporador de TFE, V-103, donde el TFE se vaporiza con agua "caliente" que entra a 29°C (85°F) y sale a 24°C (75°F). La temperatura y la presión de TFE en el evaporador están por encima de 19°C (66°F) y 400 psia, pero no más de 29°C (85°F) y 500 psia. Cuando el TFE del evaporador empieza a ser alimentado al reactor de PTFE, el contenido de terpeno es menor a 0.06 ppm. El tanque de balance, T-103, y el evaporador de TFE, V-103, se operan para prevenir la formación de una fase de terpeno en V-103 debido a la gran acumulación de cantidades de terpeno en el vapor de TFE y puede interferir en las operaciones de los reactores de PTFE.

^(k) Actúa como depurador de oxígeno para prevenir la polimerización del TFE.

^(l) El nitrógeno se usa para remover el oxígeno.

^(m) Una parte de esta capa es continua y periódicamente drenada para mantener un balance de materia apropiado del terpeno en este tanque.

Los reactores de PTFE, R-101 A&D, son horizontales, enchaquetados, equipados para alcanzar altas velocidades (600 rpm), con agitador de dos aspas, se operan en paralelo en ciclos batch alternados de 4 hr. Las operaciones se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5.5.
Operaciones del reactor de PTFE
 Capacidad de la planta:
 1,800 ton/año
 a un factor de operación de 0.9

Número de Operación	Descripción de Operación	Tiempo (min)	Calor (BTU/reactor)
1	Evacuación y purga con N ₂	10	Cero
2	Carga inicial alimentada de V-101a 65°C	10	Cero
3	Iniciador alimentado de V-102	3	Cero
4	Presurización con PTFE (de V-103) a 250 psia	10	Cero
5	Polimerización a 65°C y 250 psia	120	383,000 (emitidos)
6	Paso del flujo de TFE, venteo y purga con N ₂	20	Cero
7	Descarga	10	Cero
8	Limpieza	20	Cero
9	Sin carga	32	Cero
		Total = 4 Hrs.	

Fuente (8). Chemical economics handbook. 1992.

La reacción de polimerización que se lleva a cabo es la siguiente:



$$\Delta H_{298}^\circ = -41 \text{ Kcal/gmol de TFE (exotérmica)}$$

La reacción de polimerización se completa en un lapso aproximado de 2 hr. a 65°C (149°C) y 250 psia. Al terminar este tiempo, el reactor se ventila a través de la válvula de reducción de presión y el gas de ventilación pasa a través del secador S-102 A(ó B) para remover trazas de agua. El gas seco se enfría a -80°C (-112°F) a 20 psia en un condensador parcial E-101 para condensar prácticamente todo el TFE de la corriente de ventilación. La corriente de salida del condensador E-101 entra a un recipiente de recirculación de TFE, V-104. Las trazas de N₂ y TFE en fase vapor que salen de V-104 se mandan a las instalaciones de tratamiento de desechos. El TFE condensado se recicla al tanque T-103 o, de modo opcional, esta corriente también puede ser reciclada a la planta de TFE para repurificación.

En este diseño los reactores R-101 A & D, tanque T-101, V-103, S-102 A & B, E-101 y V-104 están respaldadas por barricadas^(a).

Después de que la ventilación del TFE que no reaccionó se completa, el reactor(es) de PTFE se lava con nitrógeno, que luego se manda a las instalaciones de eliminación de desechos, y la suspensión caliente de PTFE al 35.3% en el reactor(es) se descarga al filtro S-103. El reactor(es) se lava con agua para remover las adhesiones^(b) del polímero y esta agua también se pasa por el filtro. La suspensión acuosa del polímero y el agua de lavado se alimentan al recipiente de suspensión, V-105. El agua se agrega al contenido del recipiente V-105 para dar la relación de peso agua-polímero, 15:1, y la temperatura se reduce abajo de 30°C (80°F) por 4.4°C (40°F) de refrigeración en el enchaquetado del recipiente. La suspensión fría y diluida resultante se pasa a través de un cortador, S-104, y la suspensión

^(a) Se utilizan debido a la posibilidad de explosión.

^(b) Las adhesiones del polímero que se colectan en el filtro se remueven y se mandan a tratamiento de desechos.

proveniente de S-104 se desagua con un filtro, S-105. El tiempo del ciclo batch es de 2 hr. en V-105 y el periodo de descarga del batch a S-104 es de 1 hr. Las partículas húmedas de S-105 se secan en un secador, S-106, y se enfrían en S-107 antes de ser almacenadas en el depósito de resina granular, M-101. El material de M-101 puede ser mandado a la unidad de empaque, M-102, y almacenar en una bodega o puede llevarse a cualquiera de las secciones del proceso: 2a. o 4a. para un nuevo procesamiento.

Segunda sección. En la segunda sección de la planta, la resina granular de la primera sección se reduce a partículas de 25 μm de diámetro promedio por medio del molino S-201 A & B. Las partículas de mayor tamaño se remueven por medio del filtro S-202 y se reciclan. El producto de polvo fino se almacena en la unidad de depósito M-201, se puede mandar a la unidad de empaque y almacenarse en una bodega o se puede mandar a la tercera sección de la planta de conversión para PTFE aglomerado.

Tercera sección. En la tercera sección, el polvo fino de PTFE se carga al aglomerador S-301. El aglomerador es comúnmente conocido como mezclador de hojas gemelas (o V). Después de que el PTFE se alimenta al S-301, el aparato se rota lentamente (10-40 rpm) para revolver el PTFE. Después de 1 min., el tricloroetileno líquido se recicla dentro de la cámara por un periodo de 4 min., se continua revolviendo por otro minuto. La rotación se disminuye hasta 1-4 rpm, a 125 mm Hg, y se introduce vapor al enchaquetado que rodea a la cámara. Durante el periodo de secado de 1 hr., el vapor de tricloroetileno sale de S-301 al aspirador de agua, M-301. El agua y el tricloroetileno de M-301 se enfrían en E-301 y se separan en fases en V-301. La capa de agua^(p) en V-301 se recicla a M-301. La capa de tricloroetileno contiene una pequeña cantidad de agua que se remueve a un secador, S-302 A (o B). El tricloroetileno seco se almacena en un tanque, T-301 A (o B), antes de reciclarse a S-301. El PTFE aglomerado de S-301 se pasa a través de un filtro de dos secciones^(q), S-303. Los aglomerados de menor medida se reciclan a S-301. La cantidad de aglomerados de mayor medida, normalmente, debe ser cero, pero si llegara a ocurrir, se puede reciclar al molino, S-201 A & B, en la segunda sección de la planta. El producto del

^(p) Contiene una pequeña cantidad de tricloroetileno disuelto.

^(q) Se hace con el fin de aislar el aglomerado en el intervalo de medida deseado ($700 \mu\text{m} = d_{50}$)

filtro S-303 se almacena temporalmente en el depósito M-302 antes de mandarlo a la unidad de empaque M-102 y al almacén.

Cuarta sección. En la cuarta sección de la planta, la resina granular del almacén M-101 se carga en bandejas y se lleva al horno, S-401 A (B o D). El horno se calienta eléctricamente, y a través de él circula aire. Los hornos se operan a 380°C (716°F) y el tiempo de residencia del PTFE es de 2 hr. aproximadamente. La descarga del horno para al enfriador, S-402, que se considera como un secador con malla transportadora, y la resina aglomerada fría se alimenta a un pulverizador, S-403. El PTFE que sale del pulverizador es 8 veces más fino y se alimenta al transportador/enfriador, S-404, un transportador de tornillo *sin fin* enchaquetado que se enfría hasta -18°C. El PTFE refrigerado pasa a través del depósito de compensación, M-401, y entra al cortador S-405. La resina que sale de S-405 pasa a través del filtro S-406 y se almacena en el depósito M-402 antes de pasar a la unidad de empaque M-102 y a un almacén.

DISCUSIÓN DEL PROCESO

Capacidad de la Planta. Se fijó la capacidad de la planta para la polimerización por suspensión en 1,800 ton/año (4 millones de lb/año). Se hace el diseño del caso base completamente flexible con respecto a los 4 tipos básicos en orden para facilitar el cálculo de la economía de fabricación de los 4 tipos de producto final en plantas de polimerización por suspensión con diferentes mezclas de productos.

Vaporización del TFE. En el método del diseño para el suministro de vapor de TFE el objetivo fue el suministrar vapor de TFE a las presiones especificadas en las patentes y hacerlo de tal manera que sea práctico, seguro y que satisfaga las medidas ambientales⁽¹⁾. De cualquier modo, se requiere evitar la compresión mecánica del vapor de TFE como se hace en el reporte previo. Se ideó un esquema usando un tanque de compensación, T-103, el cual recibe la corriente de TFE líquido de entrada de la planta de TFE a -42°C (-44°F). El TFE

⁽¹⁾ Se trata de evitar el paso de la depuración de ácido sulfúrico para remover el terpeno.

contiene aprox. 52 ppm de terpeno⁽⁴⁾ disuelto. Este tanque se mantiene a una temperatura de -12°C (10°F) y, en la adición de TFE, el terpeno disuelto en el TFE es aprox. de 180 ppm.

La velocidad a la cual el TFE se bombea del tanque, T-103, al vaporizador, V-103, es el doble de la velocidad a la cual el TFE se vaporiza en V-103. Por lo tanto, la corriente líquida de V-103 que se regresa a T-103 a 19°C (66°F) contiene 360 ppm de terpeno. Debido a que no se forma una fase de separación de terpeno en el vaporizador, el terpeno que se estima como contenido en este equipo es menor a 0.06 ppm y no debe interferir con la operación de polimerización en los reactores R-101 A&D, aunque hay suficiente terpeno en el vaporizador para prevenir la polimerización. El calor para la vaporización se suministra por medio de agua "caliente" de entrada a 29°C (85°F); es importante que la temperatura V-103 no exceda la temperatura crítica de 33.3°C (91.9°F).

Reactores de PTFE. La reacción de polimerización es exotérmica, -41.1 Kcal/gmol de TFE polimerizado. Se supone que el reactor está encaquetado con una pared suave. La medida máxima⁽¹⁾ que se puede justificar es de 230 gal con 2 hr. como tiempo de reacción y con 4 hr. como tiempo de ciclo batch. Una unidad de 1,800 ton/año requiere 4 de estos reactores operando en paralelo. Se consigue el corto tiempo del ciclo (4 hr.), realizando algunas operaciones como un calentamiento pre-reacción y un enfriamiento post-reacción en recipientes externos a los reactores.

Condiciones de la Polimerización. En este diseño se toman las siguientes condiciones: 250 psia, 65°C (149°F), 120 min.

Barricadas. Es necesario encerrar los reactores en barricadas como medida de seguridad para evitar posibles explosiones. En este diseño y el estimado de costos, se ponen barricadas, no solo para los reactores, sino también para el tanque de compensación T-103,

⁽⁴⁾ La solubilidad estimada a 19°C (66°F) es 440 ppm.

⁽¹⁾ A medidas mayores, la relación superficie-volumen del reactor se convierte en muy pequeña para remover adecuadamente el calor desprendido de la polimerización.

vaporizador de TFE, V-103, condensador parcial, E-101, y el recipiente de TFE reciclado, V-104.

Resina Granular. El polímero que sale en forma de suspensión de los reactores de polimerización, es de forma irregular. Una manera de manejar a este polímero es recobrarlo por filtración, lavado y secado, y después se pasa a una pulverización del gránulo.

Otro método consiste en cortar el polímero a menos de 30°C (86°F) cuando está todavía en forma de suspensión, sigue la deshidratación y el secado. Aquí no se incluye el paso adicional que consiste en volver a hacer una suspensión con el polímero cortado y húmedo y agitarlo con agua a una temperatura de 50°C (122°F) por 8 hr.

Material de construcción. El material dominante de construcción en este diseño es el acero inoxidable 316.

Corrientes de desecho. Estas corrientes se agrupan en la Tabla 5.2. La mayoría de las corrientes son pequeñas y no representan un problema de costos en la disposición de desechos, a pesar de que algunas requieran tratamientos especiales. A pesar de la gran cantidad de agua ligeramente contaminada, la corriente 31 a 3,489 kg/hr (7683 lb/hr), debe presentar mínimas dificultades. Esta corriente contiene 0.04 kg/hr (0.09 lb/hr) de perfluorooctanoato de amonio, el cual no es biodegradable y 0.22 kg/hr (0.49 lb/hr) de Tryton X-100^(a), pero estas cantidades son, obviamente, muy pequeñas. Debido a este potencial los problemas de disposición de desechos parecen ser relativamente menores, se supone que la cantidad estimada normal para el equipo de tratamiento de desechos en el estimado de costos es adecuado.

Costos de producción y capital. El capital y costos de producción estimados se presentan para cinco tipos de operación en la planta completamente flexible representados en los diseños preliminares del proceso. Los primeros cuatro casos son para operaciones en las cuales solo un producto (1,800 ton/año, 4 millones de lb/año) se produce (granular,

^(a) El Tryton X-100 es biodegradable con dificultad.

polvo fino, aglomerado o preaglomerado) sin cualquiera de los otros tres tipos. El quinto caso es el de la producción simultánea de 4,500 ton/año (1 millón lb/año) de cada uno de los cuatro tipos.

Tabla 5.6.
Corrientes de desecho del PTFE
Capacidad de la planta:
1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

NÚMERO	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD DE FLUJO PROMEDIO(lb/hr)	COMPOSICIÓN DE LA CORRIENTE
13	Purga de N ₂ de V-101, V-102 y T-102 A&B	14.00	N ₂ y trazas de O ₂ y orgánicos
14	Corriente de salida de Terpeno de T-103	2.60	Terpeno ligeramente contaminado con otros materiales
20	Purga de N ₂ de los reactores de PTFE	20.56	N ₂ (70.5% en peso) y TFE
23	Vent de V-104	trazas	TFE y N ₂
27	Desechos del polímero de filtro S-103	4.44	Adhesiones de PTFE
31	Agua de desecho del filtro S-105	7683.16	Agua (99.991% en peso)
33	Vapor de agua del secador S-106	15.40	Agua (junto con aire)
56	Sin contar por pérdidas	5.83	PTFE

Fuente (8). Chemical economics handbook. 1992.

Tabla 5.7.
Servicios auxiliares del PTFE

Capacidad de la planta:
1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.90

CONSUMO PROMEDIO	UNIDADES	TOTAL EN LÍMITES DE BATERIA	SECCIÓN 100	SECCIÓN 200	SECCIÓN 300	SECCIÓN 400
Agua de enfriamiento	GPM	43	37	-	3	3
Agua de proceso	GPM	15	15	-	-	-
Electricidad	KW	245	130	71	6	38
Refrigerante, 40°F	Ton	26	26	-	-	-
Refrigerante, -120°F	Ton	1	1	-	-	-
DEMANDAS PICO						
Agua de enfriamiento	Gal/min	107	75	-	20	12
Agua de proceso	Gal/min	19	19	-	-	-
Vapor, 35 psig	Mlb/hr	2	2	-	-	-
Electricidad	KW	493	130	171	11	181
Gas inerte, alta presión	MSCF	1	1	-	-	-
Refrigerante, 40°F	Ton	51	51	-	-	-
Refrigerante, 0°F	Ton	2	1	-	-	-
Refrigerante, -120°F	Ton	6	6	-	-	-

Fuente (8). Chemical economics handbook. 1992.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es necesario el desarrollo de una metodología útil para elaborar estrategias para un avance futuro en la tecnología dentro de la industria petroquímica, basada en los problemas que se detectan actualmente. En esta metodología se toman en cuenta las rutas tecnológicas de producción sobre un horizonte de planeación a largo plazo.

De acuerdo a lo anterior, en esta tesis se hizo una evaluación general, tanto económica, como técnicamente sobre uno de los productos de la mencionada red petroquímica; el PTFE.

1. Un polímero es una macromolécula constituida a partir de unidades químicas simples llamadas monómeros que se repiten a lo largo de la cadena.

2. Los fluoropolímeros o resinas fluorocarbonadas son polímeros de poliolefinas en los cuales algunos o todos los átomos de hidrógeno unidos a la cadena de carbonos son reemplazados por grupos fluoruro o alquifluorados.

3. El PTFE es el fluoropolímero más importante debido a las características tan especiales como la alta estabilidad térmica, alto punto de fusión, insolubilidad, inercia química, bajo coeficiente de fricción, no adhesividad, baja constante dieléctrica, baja absorptividad de agua, alta resistencia al medio ambiente y su no inflamabilidad.

Se polimeriza por dos métodos diferentes: suspensión y emulsión. Así mismo, se puede producir en tres formas: resinas granulares, polvo fino y dispersión acuosa.

Sus usos varían de acuerdo al tipo de resina al que se refiera; pero, en general, van desde procesos químicos, industrias automotriz y eléctrica/electrónica, quirúrgicos, recubrimientos industriales y artículos domésticos.

4. Un material sustituto del PTFE es la poliamida-imida (PAI) que toma como la característica competitiva principal la baja resistencia al arrastre del PTFE. Además, presenta una maleabilidad única debido a los grupos amida y excepcional estabilidad térmica por la combinación de grupos aromáticos con enlaces imida.

5. Este producto es de gran importancia mundial, como lo demuestran los siguientes datos:

a) La producción mundial y el consumo de los fluoropolímeros alcanzó el nivel de 150 millones de lb (68 mil ton.), valuadas como U.S.\$1,450 millones en 1991. En este mismo año, el comercio mundial de los fluoropolímeros alcanzó el nivel de los 36.4 millones de lb. (16,500 ton), representando el 24% del consumo total. De 1991 - 1996, el crecimiento en el consumo total de éstos promediará un 4.2% por año.

- b) Estados Unidos produce y consume 41% y 44%, respectivamente, del volumen mundial de los fluoropolímeros. De 1991-1996, el consumo de PTFE aumentará en 4.4% cada año debido al incremento en la demanda de los mercados ambientales, automotriz y procesos químicos.
- c) Europa Occidental produce y consume el 24% y 23%, respectivamente, del volumen mundial. El PTFE representa la mayoría de la capacidad de producción, consumo y venta. De 1991-1996, el crecimiento promedio en el consumo de fluoropolímeros será cerca del 3% anual, con un crecimiento promedio mayor al esperado para tubería rellena de PTFE.
- d) Japón produce y consume 23% y 16%, respectivamente, del volumen mundial. En 1991, la capacidad japonesa de utilización del PTFE fue del 73%. El consumo japonés crecerá con una velocidad promedio de 3-4% entre 1991 y 1996.
- e) Otras regiones producen y consumen cantidades significativas de fluoropolímeros incluyendo a Brasil, Canadá, la República Popular de China, Corea, Polonia, Rusia y Taiwan. Estos países producen y consumen 12% y 17%, respectivamente, del volumen mundial de fluoropolímeros. El PTFE representa más del 95% de la capacidad, producción, consumo y comercialización de dichas regiones. Debido al rápido desarrollo económico y el incremento en la demanda en el mercado de procesamiento químico, el consumo de fluoropolímeros se incrementará a una velocidad promedio anual del 6-10% de 1991-1996.

6. En cuanto a la situación en México, el PTFE es un producto que actualmente se importa en su totalidad. De acuerdo a esto, se realizó el análisis de mercado, así como el análisis econométrico, por lo que concluimos que una planta de 4,500 ton del monómero y 1,800 ton. del polímero, es factible a partir del año 2003.

7. La econometría trata de la aplicación de la teoría económica, las matemáticas y las técnicas estadísticas con el fin de probar hipótesis y estimar, así como pronosticar los fenómenos económicos.

8. El análisis econométrico nos permitió encontrar las interdependencias entre los diferentes fenómenos de este proyecto, como la variación del PIB, consumo, precio, etc.

9. Ahora bien, de acuerdo a la información sobre inversiones, costos y precios del producto, concluimos que el proyecto es factible desde el punto de vista económico, ya que la TIR es de 45%. Esta TIR se comparó con las tasas internacionales *Libor* y *Prime* tomando la mayor, de 8.79%.

La rentabilidad aceptable a nivel internacional puede tomarse como el doble de la misma más una prima de riesgo, que la colocaría en aproximadamente 25%. De acuerdo a lo anterior, el proyecto es económicamente factible.

10. Para cubrir en un principio las capacidades internacionalmente competitivas del monómero y del polímero, es necesario abrir canales de distribución para poder exportar hasta llegar al límite de la capacidad de la planta competitiva (1,800 ton/año).

11. La determinación del valor agregado de una cadena es un poderoso elemento para el análisis de la industria petroquímica, ya que permite encontrar fortalezas y debilidades debidas al tipo de integración existente y a las condiciones del entorno, para esto último es necesario conocer los costos repartidos que dan lugar al valor del producto en cada parte de la cadena. Además, es un parámetro de comparación entre la industria nacional y la extranjera, y muestra qué tan eficiente es cada una, lo que permite, realmente, evaluar la competitividad.

12. Tomando a la cadena de producción desde sus materias primas (metano y cloro) hasta el producto final (PTFE), se calculó el valor agregado de la cadena que es de U.S.\$8.66 / Kg.

13. Los métodos utilizados en el análisis de factibilidad nos permiten concluir que el proyecto es económicamente aceptable, ya que se obtuvo un valor presente positivo, así

como una tasa interna de rendimiento de 45%, la cual es comparada con la tasa mínima atractiva que es del 25% y nos da un amplio intervalo.

En conclusión podemos afirmar que un proyecto para la IPQ no se puede analizar aisladamente sin antes haber concebido la forma de cuantificar, por rutas tecnológicas de producción, la planeación estratégica de todo el conjunto que representa nuestra IPQ.

Por las conclusiones anteriores se recomienda:

1. **Integrar la cadena petroquímica para asegurar el abastecimiento de materias primas para el proceso.**
2. **Arrancar la planta al 50% de su capacidad instalada en el año 2000 y cubrir la total para el 2005.**
3. **En la parte de seguridad se recomienda construir barricadas para reactores, tanques de condensación, vaporizadores, condensador parcial y recipientes de PTFE.**
4. **No exponerse al producto no terminado, ya que puede provocar irritación mucosa.**

ANEXO A

MERCADO NORTEAMERICANO DE CABLE Y ALAMBRE *PLENUM*

Durante los 80, el mercado de *plenum* fue por mucho el más importante escape para los fluoropolímeros procesables por fusión. (*plenum* es la palabra para describir el espacio aire entre un techo suspendido y el piso estructural de arriba. Las áreas *plenum* son, generalmente, parte de la construcción industrial y comercial, además de la residencial).

INTRODUCCIÓN:

El cable y el alambre *plenum* describe una clase de cable de energía limitada que se usa en los espacios *plenum* de los edificios comerciales. Para colocar la clase *plenum* en un contexto apropiado, se presenta a continuación una lista completa de las diferentes clases de este cable incluyendo sus aplicaciones.

Una variedad de pruebas de fuego se han designado para las diferentes clases de éste. Dependiendo de la aplicación que tenga, el cable debe pasar la prueba de fuego asociada. Las clases de cable en la tabla se enlistan de arriba hacia abajo en el orden de la más rigurosa prueba de fuego.

Tabla A. I.
Clases de cables de energía limitada⁽¹⁾

Clase	Prueba de fuego	Aplicación
Plenum	UL910	Se usa sobre techos falsos en espacios horizontales de flujo de aire en edificios comerciales.
Riser	UL1666	Se usa en túneles verticales en edificios comerciales.
Propósitos generales	Placa vertical	Otros usos en edificios comerciales.
Residencial	VW-1	Se usa en edificios residenciales y como conductos (protectores de tubería metálica) en aplicaciones no residenciales.

⁽¹⁾ Lista de productos AT&T.

Debido a su alto costo, los polímeros se usan como materiales de aislamiento y enchaquetamiento en cable y alambre *plenum*, principalmente, porque generan, relativamente, poco humo y flama en casos de incendio (y son además, capaces de pasar la más exigente prueba de fuego, UL910)^(b). Debido a que las otras clases de cable (*riser*, propósitos generales y residencial), se usan en aplicaciones con requerimientos menos estrictos en las pruebas de fuego, se usan preferentemente materiales aislantes menos caros como el PVC y poliolefinas.

SEGMENTOS DEL MERCADO Y REQUERIMIENTOS DE MATERIAL.

La siguiente tabla presenta los tres segmentos importantes del mercado para cable y alambre *plenum* — telecomunicaciones, transmisión de datos y alarma para fuego (señales). Para su fácil identificación, cada segmento tiene una designación correspondiente, que se imprime típicamente en la parte de afuera del mismo cable.

Tabla A.2.
Segmentos del mercado para cable y alambre *plenum* ^(c)

Segmento	Designación	Descripción
Telecomunicaciones	CMP	Alambre y cable de comunicaciones (transmisión análoga).
Transmisión de datos	CL3P, CL2P	Control remoto, señales y cables de poder limitado incluyendo las fibras ópticas (transmisión digital.)
Alarma para fuego	FPLP	Cables de alarma para fuego de poder limitado.

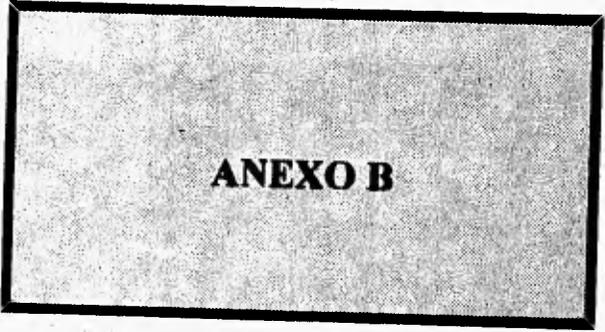
^(b) A medida que se usan en espacios *plenum*, los materiales de aislamiento deben pasar la prueba UL910 (a veces se refieren como la prueba de *Steiner Turner*). De manera cuantitativa, esta prueba especifica las máximas cantidades permitidas que deben generar los materiales aislantes que se usan en el alambre *Plenum* en edificios comerciales.

^(c) Lista de productos AT&T.

La necesidad de tener signos análogos para las comunicaciones telefónicas se desarrolló antes de la era de las computadoras, resultando el uso histórico de cables separados en cada uno de los tres segmentos. De cualquier manera, en 1991, ocurrió una confusión entre los segmentos de telecomunicaciones y transmisión de datos, debido a que ambos tipos de alambres se utilizaban frecuentemente en el mismo cable. En un futuro cercano, va a ser común utilizar combinados los alambres de ambos segmentos en un solo cable, lo que traerá como ventajas que:

- puede ser más barato instalar con múltiples capacidades anticipando cambios en las tecnologías y requerimientos para la transmisión de información.
- permite el uso de una pared enchaquetada para todos los tipos de equipo.

Aunque la gran mayoría del alambre *plenum* todavía se basa en conductores de cobre, en el futuro (cinco o diez años), un nuevo tipo de material conductor, fibra de vidrio (fibra óptica), será el más importante subsegmento del mercado de transmisión de datos.



ANEXO B

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE.

Variable	Coefficiente	Error estándar	"t" estadística
Consumo	-25.840037	36.276473	-0.7123084
Ln PIB	1.1334724	1.2999499	0.8719354
Ln consumo (-1)	0.3153858	0.2005056	1.5729530
Tiempo	0.0360645	0.0521473	0.6915883

Estos son algunos de los estadísticos que se toman en cuenta para calcular la ecuación que describe el comportamiento del mercado nacional:

Estadístico	
R-cuadrada	0.764280
R-cuadrada ajustada	0.732136
E.S. de regresión	0.598020
Estadístico Durbin-Watson	1.521935

Estadístico	
Media de la variable dependiente	10.90141
D.S. de la variable dependiente	1.155469
Suma de los cuadrados de residuos	7.867804
Estadístico F	23.77698

La ecuación obtenida después de hacer el análisis es la sig.:

$$\ln C_t = A + B \ln \text{PIB} + C \ln C_{t-1} + D t$$

donde:

PIB = Producto interno bruto

t = tiempo

C_{t-1} = Consumo en el período anterior

C_t = Consumo calculado

A, B, C y D son constantes obtenidas en el análisis.

En la siguiente tabla se muestra, junto con el diagrama de correlación de errores, la relación entre los resultados, reales y los ajustados, que se obtuvieron de la regresión múltiple:

Correlación de errores	Observaciones	Diferencia (real - ajustado)	Real	Ajustado
*	1967	-1.69695	7.25347	8.95042
	1968	0.47855	9.19431	8.71576
	1969	0.66337	10.0800	9.41667
	1970	0.41107	10.2418	9.83071
	1971	0.34417	10.3082	9.96405
	1972	0.14316	10.2515	10.1083
	1973	0.78437	10.9918	10.2075
	1974	0.22153	10.7741	10.5526
*	1975	-1.11918	9.43684	10.5560
	1976	-0.17791	10.0611	10.2390
	1977	0.17777	10.6826	10.5048
	1978	0.82550	11.6556	10.8301
	1979	-0.21162	11.0476	11.2592
	1980	-0.26038	10.9486	11.2090
	1981	0.18941	11.4998	11.3104
	1982	-0.34208	11.1548	11.4969
	1983	-0.55254	10.8234	11.3759
	1984	0.07948	11.4352	11.3557
	1985	-0.12235	11.4858	11.6081
	1986	-0.48657	11.1263	11.6129
	1987	-0.34095	11.2185	11.5594
	1989	0.55728	12.2642	11.7069
	1990	0.27287	12.4117	12.1388

REGRESIÓN MÚLTIPLE

$$\ln Ct = -25.840 + 1.134 \ln PIBt + 0.315 \ln Ct-1 + 0.0361t$$

Año	Periodo	ln Consumo al PIB de 2%	Consumo al PIB de 2%	ln Consumo al PIB de 5%	Consumo al PIB de 5%	PIB (2%)	PIB (5%)	PIB (8%)	ln Consumo al PIB de 8%	Consumo al PIB de 8%
1992	26		244,028.00		244,028.00	5.62E+12	5.62E+12	5.62E+12		244,028.00
1993	27	12.3552	232,158.10	12.3880	239,916.38	5.73E+12	5.90E+12	6.07E+12	12.42	247,704.43
1994	28	12.3980	242,322.02	12.4741	261,432.11	5.84E+12	6.19E+12	6.55E+12	12.55	281,552.90
1995	29	12.4701	260,426.61	12.5927	294,390.66	5.96E+12	6.50E+12	7.07E+12	12.71	331,636.88
1996	30	12.5513	282,470.51	12.7214	334,847.89	6.08E+12	6.83E+12	7.64E+12	12.89	395,039.74
1997	31	12.6355	307,269.44	12.8534	382,093.97	6.20E+12	7.17E+12	8.25E+12	13.07	472,230.91
1998	32	12.7205	334,550.80	12.9864	436,449.00	6.32E+12	7.53E+12	8.91E+12	13.24	565,134.44
1999	33	12.8059	364,359.13	13.1198	498,695.72	6.45E+12	7.90E+12	9.62E+12	13.42	676,552.52
2000	34	12.8913	396,859.30	13.2532	569,877.50	6.58E+12	8.30E+12	1.04E+13	13.60	810,026.55
2001	35	12.9768	432,270.77	13.3866	651,240.14	6.71E+12	8.71E+12	1.12E+13	13.78	969,866.84
2002	36	13.0623	470,846.20	13.5201	744,226.52	6.85E+12	9.15E+12	1.21E+13	13.97	1,161,260.70
2003	37	13.1478	512,865.53	13.6536	850,492.51	6.98E+12	9.61E+12	1.31E+13	14.15	1,390,429.10
2004	38	13.2333	558,635.24	13.7870	971,932.88	7.12E+12	1.01E+13	1.41E+13	14.33	1,664,824.43
2005	39	13.3187	608,489.76	13.9205	1,110,713.86	7.26E+12	1.06E+13	1.53E+13	14.51	1,993,371.21
2006	40	13.4042	662,793.53	14.0540	1,269,311.32	7.41E+12	1.11E+13	1.65E+13	14.69	2,386,755.70
2007	41	13.4897	721,943.57	14.1875	1,450,554.75	7.56E+12	1.17E+13	1.78E+13	14.87	2,857,773.28
2008	42	13.5752	786,372.38	14.3209	1,657,677.73	7.71E+12	1.23E+13	1.92E+13	15.05	3,421,744.51
2009	43	13.6607	856,551.05	14.4544	1,894,375.56	7.86E+12	1.29E+13	2.08E+13	15.23	4,097,613.43
2010	44	13.7462	932,992.72	14.5879	2,164,871.19	8.02E+12	1.35E+13	2.24E+13	15.41	4,905,544.25
2011	45	13.8316	1,016,256.31	14.7213	2,473,990.58	8.18E+12	1.42E+13	2.42E+13	15.59	5,873,635.70
2012	46	13.9171	1,106,950.64	14.8548	2,827,248.75	8.35E+12	1.49E+13	2.62E+13	15.77	7,032,776.51
2013	47	14.0026	1,205,738.85	14.9883	3,230,948.24	8.51E+12	1.56E+13	2.83E+13	15.95	8,420,669.57
2014	48	14.0881	1,313,343.28	15.1218	3,692,291.49	8.68E+12	1.64E+13	3.05E+13	16.13	10,082,458.32
2015	49	14.1736	1,430,550.71	15.2552	4,219,509.40	8.86E+12	1.72E+13	3.30E+13	16.31	12,072,195.08
2016	50	14.2591	1,558,218.15	15.3887	4,822,008.13	9.03E+12	1.81E+13	3.56E+13	16.49	14,454,599.21
2017	51	14.3445	1,697,279.09	15.5222	5,510,536.94	9.21E+12	1.90E+13	3.85E+13	16.67	17,307,162.20
2018	52	14.4300	1,848,750.31	15.6556	6,297,379.95	9.40E+12	2.00E+13	4.15E+13	16.85	20,722,668.20
2019	53	14.5155	2,013,739.37	15.7891	7,196,575.35	9.59E+12	2.10E+13	4.49E+13	17.03	24,812,211.98

ANEXO C

**PLANTA PRODUCTORA DE POLITETRAFLUOROETILENO POR
POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN
CAPACIDAD: 1,800 TON/AÑO
FACTOR DE CORRIENTE: 0.9**

PRODUCTO PRINCIPAL: 1,800 ton/año
INVERSION EN EQUIPO: U.S.\$2,739,162.00
INVERSION FIJA: U.S.\$9340,542.42

PARIDAD FIJA: 1:6
INFLACION FIJA: 50.0% (Agosto, Chemical Bank)

PREMISAS: "LA PLANTA SE CONSTRUYE EN 1 AÑO"
"PARIDAD FIJA / INFLACION FIJA"

I. PRESUPUESTO DE INVERSION FIJA

	ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COSTOS DIRECTOS												
Adquisición de equipo		2,739,162										
Instalación		1232,6229										
Instrumentación y control		246,5246										
Tuberías		438,2659										
Instalación eléctrica		273,9162										
Edificios (incluyendo servicios)		684,7905										
Instalaciones de servicios		1095,6648										
Terreno		1643,4972										
Mejoras al terreno		356,0911										
Total Costos Directos (M\$)		5971,3732										
COSTOS INDIRECTOS												
Ingeniería y supervisión		903,9235										
Materiales para construcción		1068,2732										
Contratistas		465,6575										
Contingencias		931,3151										
Total Costos Indirectos (M\$)		3369,1693										
INVERSION FIJA (M\$)		9340,5424										

Observación: Solamente en el año "0" se tiene la inversión

VI. PRESUPUESTO DE INGRESOS Y EGRESOS

	ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos Totales		0	19851.9801	22687.9773	25523.9745	28359.9716	28359.9716	28359.9716	28359.9716	28359.9716	28359.9716	28359.9716
(-) Costos de Producción		0	12006.2481	13527.6894	15049.1307	16570.5720	16570.5720	16570.5720	16570.5720	16570.5720	16570.5720	16570.5720
Utilidad Bruta (MS)		0	7845.7320	9160.2879	10474.8437	11789.3996	11789.3996	11789.3996	11789.3996	11789.3996	11789.3996	11789.3996
(-) Gastos de Operación		0	496.2995037	567.1994328	638.0993619	708.999291	708.999291	708.999291	708.999291	708.999291	708.999291	708.999291
Utilidad de Operación (MS)		0	7349.4325	8593.0884	9836.7444	11080.4003	11080.4003	11080.4003	11080.4003	11080.4003	11080.4003	11080.4003
(-) Impuesto sobre la Renta (35%)		0	2572.301373	3007.580953	3442.860533	3878.140113	3878.140113	3878.140113	3878.140113	3878.140113	3878.140113	3878.140113
(-) Reparto de Utilidades (10%)		0	734.9432494	859.3088437	983.674438	1108.040032	1108.040032	1108.040032	1108.040032	1108.040032	1108.040032	1108.040032
Utilidad Neta (MS)		0	4042.1879	4726.1986	5410.2094	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202

VII. PRESUPUESTO DE CAPITAL DE TRABAJO

	ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ACTIVO												
Cuentas por Cobrar		0	1654.331679	1890.664776	2126.997873	2363.33097	2363.33097	2363.33097	2363.33097	2363.33097	2363.33097	2363.33097
Inventario de Materias Primas		0	415.5847756	474.9540293	534.3232829	593.6925366	593.6925366	593.6925366	593.6925366	593.6925366	593.6925366	593.6925366
Inventario de Producto Terminado		0	500.2603396	563.6517267	627.0471139	690.4405011	690.4405011	690.4405011	690.4405011	690.4405011	690.4405011	690.4405011
Caja		0	49.62995037	56.71994328	63.80993619	70.8999291	70.8999291	70.8999291	70.8999291	70.8999291	70.8999291	70.8999291
Total de Activo Circulante		0	2619.806745	2985.992475	3352.178206	3718.363937	3718.363937	3718.363937	3718.363937	3718.363937	3718.363937	3718.363937
PASIVO												
Cuentas por Pagar		0	831.1696	949.9081	1068.6466	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851
Total de Pasivo Circulante		0	831.1696	949.9081	1068.6466	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851	1187.3851
Capital de Trabajo=(Act.-Pas.)C.		0	1788.6372	2036.0844	2283.5316	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789

Observaciones: Solamente se deben considerar los incrementos en C.T.

VIII. PRESUPUESTO DE FLUJO NETO DE EFECTIVO

	ANO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ENTRADAS												
Utilidad Neta		0	4042.1879	4726.1986	5410.2094	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202	6094.2202
+ Depreciación		0	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242	93.4054242
Total de Entradas		0	4135.5933	4819.6041	5503.6148	6187.6256						
SALIDAS												
inversión Fija		0	9340.5424	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
inversión de Capital de Trabajo		0	1788.6372	2036.0844	2283.5316	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789	2530.9789
Total de Salidas		0	11129.1796	2036.0844	2283.5316	2530.9789						
Flujo Neto de Efectivo=Entradas-Salidas		0	-6993.5863	2783.5196	3220.0832	3656.6467						

TASA INTERNA DE RECUPERACIÓN

45%

ANEXO D

**LISTA DE EQUIPO PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL TFE
A PARTIR DEL CLORODIFLUOROETILENO**

NÚMERO DE EQUIPO	NOMBRE	TAMAÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN		OBSERVACIONES
Reactores R-101	Reactor de TFE	38 G	Pt		Cerca de 1 pie de diámetro y 6 pies de long. adiabático.
Compresores K-201	Compresor	BHP 26	C.S.		
Intercambiadores de calor		Área (ft ²)	Coraza	Tubos	Carga promedio, (MM BTU/Hr)
E-101	Vaporizador de alimentación	50	C.S. (1)	316 SS	0.32
E-102	Enfriador	530	C.S.		1.35
E-103	Condensador parcial	900	C.S.	Grafito	6.63
E-104	Enfriador de ácido	50	C.S.	316 SS	0.23
E-201	Enfriador	50	C.S.	316 SS	0.01
E-202	Condensador parcial	100	C.S.	316 SS	0.33
E-203	Condensador	390	C.S.	316 SS	0.40
E-204	Rehervidor	50	C.S.	316 SS	0.5
E-205	Condensador	430	C.S.	316 SS	0.48
E-206	Rehervidor	50	C.S.	316 SS	0.54
E-207	Condensador	1340	C.S.	316 SS	1.78
E-208	Rehervidor	150	C.S.	316 SS	1.99
E-209	Condensador	2700	C.S.	316 SS	2.99
E-210	Rehervidor	220	C.S.	316 SS	3.29
E-211	Intercambiador de calor	10	C.S.	316 SS	0.01
E-212	Intercambiador de calor	20	C.S.	316 SS	0.02

Anexo D

E-213	Condensador	140	C.S.	316 SS	0.23
E-214	Rehervidor	20	C.S.	316 SS	0.26
E-215	Vaporizador	10	C.S.	316 SS	6.00
E-216	Enfriador	10	C.S.	316 SS	0.02
E-217	Condensador	210	C.S.	316 SS	0.31
E-218	Rehervidor	25	C.S.	316 SS	0.37
Calentadores a fuego directo		Carga calorífica (MM BTU/hr)			
H-101	Calentador de alimentación	0.5		316 SS	
H-102	Calentador de vapor	3.3		316 SS	
Columnas		Diám. (ft)	Altura (ft)	Coraza	
C-101	Absorbedor de Hcl	1	15	grafito	
C-102	Columna secadora	1	11	316SS	
C-201	Columna de fondos ligeros	1.5	53	316 SS	
C-202	Columna de TFE	1.5	56	316 SS	
C-203	Columna de fondos pesados	2	39	316 SS	
C-204	Columna de CDFM	2	87	316 SS	
C-205	Absorbedor	1	18	316SS	
C-206	Destilador	1	16	316 SS	
C-207	Depurador	1	17	316 SS	
C-208	Absorbedor	1	16	316 SS	
C-209	Destilador	1	20	316 SS	
C-210	Depurador	1	18	316SS	
Recipientes a presión		Voumen (Gal)			
V-101	Recipiente separador	620		Grafito	
V-201	Recipiente separador	200		316 SS	
V-202	Tambor de reflujo	230		316 SS	

V-203	Tambor de reflujo	280	316 SS	
V-204	Tambor de reflujo	780	316 SS	
V-205	Tambor de reflujo	1350	316 SS	
V-206	Tambor de reflujo	50	316 SS	
V-207	Tambor de reflujo	100	316 SS	
Equipo especial				
S-201	Secador	0.1 lb/hr de agua	Varios	
S-202	Secador	0.3 lb/hr de agua	Varios	
Tanques		Volumen (Gal)		
T-101 A,B	Tanques de CDFM	7,000 EA	316 SS	Off-site
T-102 A,B	Tanques de HCl	42,000 EA	Hule LND	Off-site
T-103 A,B	Tanques de H2SO4	15,000 EA	C.S.	Off-site
T-104 A,B	Tanque de ácido húmedo	15,000 EA	C.S.	Off-site
T-201 A,B	Tanques de CDFM reciclado	2,000 EA	316 SS	Off-site
T-202	Tanque de metanol	1,000 EA	316 SS	Off-site
T-203 A,B	Tanques de servicios generales	7,000 EA	316 SS	Off-site
T-204 A,B	Tanques de Teperno	400 EA	316 SS	Off-site
T-205 A,B	Tanque de TFE	4,000 EA	316 SS	Off-site
Bombas				
	SECCION	OPERACION	TIEMPOS MUERTOS	BHP DE OPERACION
	100	4	6	8
	200	21	22	15

**LISTA DE EQUIPO PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL PTFE
(POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN)**

NÚMERO DE EQUIPO	NOMBRE	TAMAÑO	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	OBSERVACIONES
Reactores R-101 A-B	Reactores de PTFE	230 Gal EA	316 SS	25 Hp de cada agitador enchaquetado
Compresores K-101	Bomba de vacío	BHP 10	C.S.	
Intercambiadores de calor E-101	Condensador	Área (ft ²) 50	Coraza Tubos C.S. (1) 316 SS	Carga pico 73,000 lb/hr. Carga promedio 6,000 BTU/hr
E-301	Enfriador	250	C.S. C.S.	Carga pico 13.3 MM BTU/hr. Carga promedio 6.65 MM BTU/hr
Equipos varios M-101	Depósito de resina granular	770 ft ³	Aluminio	
M-102	Unidad de empaque	1 cont./min	Varios	
M-201	Depósito de resina de polvo fino	2050 ft ³	Aluminio	
M-301	Aspirador de agua		C.S.	
M-302	Depósito de resina granular	770 ft ³	Aluminio	
M-401	Tanque de agitación	60 ft ³	Aluminio	
M-402	Depósito de resina preaglomerada	650 ft ³	Aluminio	

Recipientes a presión		Volumen (Gal)		
V-101	Recipiente de carga iniciadora	1,500	316 SS	Agitador enchaquetado de 4 HP.
V-102	Recipiente de solución base	50	316 SS	Agitador de 0.1 HP
V-103	Vaporizador de TFE	70	316 SS	Bobina de calentamiento 40 ft ²
V-104	Recipiente de reciclaje de TFE	50	316 SS	
V-105	Recipiente para mezcla	3,100	316 SS	Agitador de 12.5 HP enchaquetado
V-301	Recipiente de separación	2,300	316 SS	
V-302	Tanque de agitación	2,400	316 SS	
Equipo especial				
S-101	Unidad de agua desionizada	1,500 Gal/hr	Varios	
S-102 A,B	Secadores	50 Gal EA	Varios	
S-103	Filtro	8 ft ²	316 SS	
S-104	Cortador	20 HP	Varios	
S-105	Filtro	10 ft ²	316 SS	
S-106	Secador	320 ft ³ , doble motor	Varios	
S-107	Enfriador		Varios	
S-201 A,B	Molinos de martillo	85 HP EA	Varios	
S-202	Filtro	20 ft ²	316 SS	
S-301	Aglomerador	65 ft ³	316 SS	
S-302 A,B	Secador	50 Gal EA	Varios	
S-303	Filtro	20 ft ² , dos mallas	316 SS	
S-401 A-D	Hornos	70 ft ³	Varios	

Anexo D

S-402	Enfriador		Varios	
S-403	Pulverizador	10 HP	Varios	
S-404	Transportador/Enfriador	9 in x 20 ft, enchaquetado	Varios	
S-405	Cortador	10 HP	C.S.	
S-406	Filtro	6 ft ²	C.S.	
Tanques		Volumen (Gal)		
T-101 A,B	Tanques de agua desionizada	3,400 EA	316 SS	On-site
T-102 A,B	Tanques de Terpeno	100 EA	316 SS	Off-site
T-103	Tanque agitado de TPE	1,800	316 SS	On-site
T-301 A,B	Tanques de Tricloroetileno	900 EA	316 SS	Off-site
Bombas				
	SECCIÓN	OPERACIÓN	TIEMPOS MUERTOS	BHP DE OPERACIÓN
	100	12	13	10
	300	4	4	6

ANEXO E

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AGUA	18.0	-	3,795.2	3,795.2	3,795.2	5,135.2	474.0	20.0	5,589.2	1,340.6	4,249.2
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	0.3	0.4	-	-	0.4	0.1	0.3
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONOXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	trazas	trazas	-	-	-	-	-
METANOL	32.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	947.2	1,174.3	-	-	1,174.3	227.1	947.2
DIFLUOROMETANO	52.0	-	-	-	trazas	trazas	-	-	-	-	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	-	-	-	1.1	1.1	-	1.1	-	-	-
TRIFLUOROETILENO	82.0	-	-	-	0.2	0.2	-	0.2	-	-	-
CDFM	86.5	2,260.5	-	3,218.5	969.3	969.3	-	969.3	-	-	-
ACIDO SUCCINICO	98.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	1,281.2	1,281.2	-	1,281.2	-	-	-
DDFM	121.0	-	-	-	2.0	2.0	-	2.0	-	-	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLOROTETRAFLUOROETANO	136.5	-	-	-	1.8	1.8	-	1.8	-	-	-
HEXAFLUOROCICLOPROPANO	150.0	-	-	-	0.1	0.1	-	0.1	-	-	-
HEXAFLUOROPROPILENO	150.0	-	-	0.3	5.0	5.0	-	5.0	-	-	-
CLOROHEXAFLUOROPROPANO	186.5	-	-	-	1.8	1.8	-	1.8	-	-	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUOROCICLOBUTANO	200.0	-	-	-	8.8	8.8	-	8.8	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		2,260.5	3,795.2	7,014.0	7,014.6	8,581.2	474.0	2,291.3	6,736.9	1,567.2	5,196.7
(Kg/Hr)		1,025.2	1,721.2	3,181.0	3,181.0	3,891.7	215.0	1,039.1	3,067.5	710.7	2,356.8

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AGUA	18.0	10.0	40.0	60.0	30.0	30.0	-	-	-	-	-
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	presente	presente	presente	-	-
MONÓXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	-	-	trazas	trazas	trazas	-	-
METANOL	32.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIFLUOROMETANO	52.0	-	-	-	-	-	trazas	trazas	-	trazas	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	-	-	-	-	-	1.1	1.3	0.3	1.0	1.0
TRIFLUOROETILENO	82.0	-	-	-	-	-	0.2	0.2	-	0.2	-
CDFM	86.5	-	-	-	-	-	969.3	969.3	0.6	968.7	-
ACIDO SUCCINICO	98.0	490.0	980.0	980.0	490.0	490.0	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	-	-	1,281.2	1,337.5	6.8	1,330.7	64.1
DDFM	121.0	-	-	-	-	-	2.0	2.0	-	2.0	-
TERPENOS	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	trazas
CLOROTETRAFLUOROETANO	136.5	-	-	-	-	-	1.8	1.8	-	1.8	-
HEXAFLUOROCICLOPROPANO	150.0	-	-	-	-	-	0.1	0.1	-	0.1	-
HEXAFLUOROPROPILENO	150.0	-	-	-	-	-	5.0	5.0	-	5.0	-
CLOROHEXAFLUOROPROPANO	186.5	-	-	-	-	-	1.8	1.8	-	1.8	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUOROCICLOBUTANO	200.0	-	-	-	-	-	8.8	8.8	-	8.8	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		500.0	1,020.0	1,040.0	520.0	520.0	2,271.3	2,327.8	7.7	2,320.1	65.1
(Kg/Hr)		226.8	462.6	471.7	235.8	235.8	1,030.1	1,055.7	3.5	1,052.2	29.5

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AGUA	18.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONOXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
METANOL	32.0	-	-	-	-	-	-	-	312.0	311.9	0.1
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIFLUOROMETANO	52.0	trazas	-	trazas	trazas	-	trazas	-	-	-	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	0.2
TRIFLUOROETILENO	82.0	0.2	-	0.2	0.2	-	0.2	-	-	-	-
CDFM	86.5	968.7	-	1,803.8	1,794.8	9.0	33.5	1,761.3	-	-	-
ACIDO SUCCINICO	98.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IFE	100.0	1,266.6	1,265.3	1.3	1.3	-	1.3	-	-	7.8	56.3
DDFM	121.0	2.0	-	2.0	-	2.0	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	0.1	0.1	0.3	-	0.3	-	-	0.3	0.3	-
CLOROTETRAFLUROETANO	136.5	1.8	-	1.8	-	1.8	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROCICLOPROPANO	150.0	0.1	-	0.1	-	0.1	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROPROPILENO	150.0	5.0	-	5.2	5.2	-	4.7	0.5	-	-	-
CLOROHEXAFLUROPROPANO	186.5	1.8	-	1.8	-	1.8	-	-	-	-	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUROCICLOBUTANO	200.0	8.8	-	8.8	-	8.8	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		2,253.1	1,265.4	1,825.3	1,801.5	23.8	39.7	1,761.8	312.3	320.8	56.6
(Kg/Hr)		1,022.7	573.9	827.8	817.0	10.8	18.0	799.0	141.6	145.5	23.2

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
AGUA	18.0	-	-	102.0	101.9	0.1	0.1	-	-	-	-
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONOXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
METANOL	32.0	0.8	4.0	-	0.1	-	-	-	338.0	337.7	0.3
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIFLUOROMETANO	52.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	0.8	-	-	-	0.2	-	0.2	-	-	-
TRIFLUOROETILENO	82.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2
CDFM	86.5	-	-	-	-	-	-	-	-	31.8	1.7
ACIDO SUCCINICO	98.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	7.8	-	-	-	56.3	-	56.3	-	-	1.3
DDFM	121.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLOROTETRAFLUROETANO	136.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUROOCICLOPROPANO	150.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUROOPROPILENO	150.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7
CLOROHXAFLUROOPROPANO	186.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUROOCICLOBUTANO	200.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		9.4	4.0	102.0	102.6	56.6	0.1	56.5	338.0	369.5	8.2
(Kg/Hr)		4.3	1.8	46.3	46.3	25.7	0.0	25.6	153.3	167.6	3.7

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
AGUA	18.0	-	-	50.0	49.7	0.3	0.3	-	-	-	-
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONOXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
METANOL	32.0	3.0	3.3	-	3.0	-	-	-	-	-	7.3
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DIFLUOROMETANO	52.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRIFLUOROETILENO	82.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CDFM	86.5	31.8	-	-	-	31.8	-	31.8	835.1	926.2	-
ACIDO SUCCINICO	98.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DDFM	121.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLOROTETRAFLUOROETANO	136.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROCICLOPROPANO	150.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROPROPILENO	150.0	trazas	-	-	-	-	-	0.2	0.3	-	-
CLOROHEXAFLUOROPROPANO	186.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUOROCICLOBUTANO	200.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		34.8	3.3	50.0	52.7	32.1	0.3	31.8	835.3	926.5	7.3
(Kg/Hr)		15.8	1.5	22.7	23.9	14.6	0.1	14.4	378.8	420.2	3.3

Tetrafluoroetileno a partir de CDFM

Capacidad de la planta: 10 millones de lb/hr (4500 ton/año)
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)						
		51	52	53	54	55	56	57
AGUA	18.0	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO FLUORHIDRICO	20.0	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-
MONOXIDO DE CARBONO	28.0	-	-	-	-	-	-	-
METANOL	32.0	3.1	-	-	-	-	-	-
ACIDO CLORHIDRICO	36.5	-	-	-	-	-	-	-
DIFLUOROMETANO	52.0	-	-	-	-	-	-	-
TRIFLUOROMETANO	70.0	-	-	-	-	-	-	-
TRIFLUOROETILENO	82.0	-	-	-	-	-	-	-
CDFM	86.5	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO SUCCINICO	98.0	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	-	-	-	1,265.3
DDFM	121.0	-	-	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	trazas	6.6	6.2	0.1	0.3	6.2	0.1
CLOROTETRAFLUOROETANO	136.5	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROCICLOPROPANO	150.0	-	-	-	-	-	-	-
HEXAFLUOROPROPILENO	150.0	-	-	-	-	-	-	-
CLOROHEXAFLUOROPROPANO	186.5	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROTRIFLUOROETANO	187.5	-	-	-	-	-	-	-
OCTAFLUOROCICLOBUTANO	200.0	-	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (Lb/Hr)		3.1	6.6	6.2	0.1	0.3	6.2	1,265.4
(Kg/Hr)		1.4	3.0	2.8	0.0	0.1	2.8	573.9

PTFE de TFE por polimerización por suspensión

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AGUA	18.0	-	941.9	-	-	-	-	-	14.0	937.0	4.9
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	523.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROETILENO	131.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERPENOS B	136.0	-	-	-	-	-	-	2.8	-	-	-
ACIDO CITRICO	192.0	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-
PERSULFATO DE AMONIO	228.0	-	-	-	-	-	0.0148	-	-	-	-
PERFLUOROOCANOATO DE AMONIO	431.0	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-
TRYTON X-100	602.0	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-
POLITETRAFLUOROETILENO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (lb/hr)		523.7	941.9	0.1	0.49	0.12	0.0148	2.8	14.0	935.0	4.9
(Kg/hr)		237.5	427.2	0.04	0.22	0.05	0.0100	1.27	6.4	424.9	2.2

PTFE de TFE por polimerización por suspensión

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
AGUA	18.0	936.95	4.94	-	-	-	-	-	-	0.17	-
NITROGENO	28.0	-	-	14.0	-	-	-	-	14.5	trazas	14.5
TFE	100.0	-	-	-	-	1,120.4	560.2	560.2	-	36.52	6.1
TRICLOROETILENO	131.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	2.80	-	-	-	-	-	-
ACIDO CITRICO	192.0	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERSULFATO DE AMONIO	228.0	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFLUOROOCANOATO DE AMONIO	431.0	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRYTON X-100	602.0	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
POLITETRAFLUOROETILENO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	Presente	Presente	-	-	-	-	-	-
TOTAL (lb/hr)		937.65	4.95	14.0	2.80	1,120.4	560.2	560.2	14.5	36.69	20.6
(Kg/hr)		425.24	2.25	6.4	1.27	508.1	254.1	254.1	6.6	16.64	9.3

PTFE de TFE por polimerización por suspensión

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
AGUA	18.0	941.720	0.17	-	-	1,000.0	1,000.0	0.13	1,941.6	5,756.3	7,697.9
NITROGENO	28.0	-	-	trazas	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	trazas	36.5	-	-	-	-	-	-
TRICLOROETILENO	131.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO CITRICO	192.0	0.120	-	-	-	-	-	-	0.12	-	0.1
PERSULFATO DE AMONIO	228.0	0.015	-	-	-	-	-	-	0.0148	-	0.0
PERFLUOROCTANOATO DE AMONIO	431.0	0.090	-	-	-	-	-	-	0.1	-	0.1
TRYTON X-100	602.0	0.490	-	-	-	-	-	-	0.5	-	0.5
POLITETRAFLUOROETILENO		517.630	-	-	-	-	-	4.44	513.2	-	513.2
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (lb/hr)		1,460.060	0.20	0.0	36.5	1,000.0	1,000.0	4.57	2,455.5	5,756.3	8,211.8
(Kg/hr)		662.160	0.08	0.0	16.6	453.5	453.5	2.07	1,113.6	2,610.6	3,724.2

PTFE de TFE por polimerización por suspensión

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
AGUA	18.0	-	-	-	-	-	0.1	5,000.1	5,000.0	0.12	0.12
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROETILENO	131.5	-	376.17	-	-	376.17	-	381.67	5.50	376.17	-
TERPENO B	136.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO CITRICO	192.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERSULFATO DE AMONIO	228.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERFLUOROOCANOATO DE AMONIO	431.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FRYTON X-100	602.0	-	-	-	-	-	-	31.80	-	-	-
POLITETRAFLUOROETILENO		513.19	-	Presente	513.19	-	-	-	-	-	-
OTROS		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (lb/hr)		513.19	376.17	0.0	513.19	376.17	0.12	5,381.67	5,005.50	376.29	0.12
(Kg/hr)		232.74	170.60	0.0	232.74	170.60	0.05	2,440.72	2,270.07	270.65	0.05

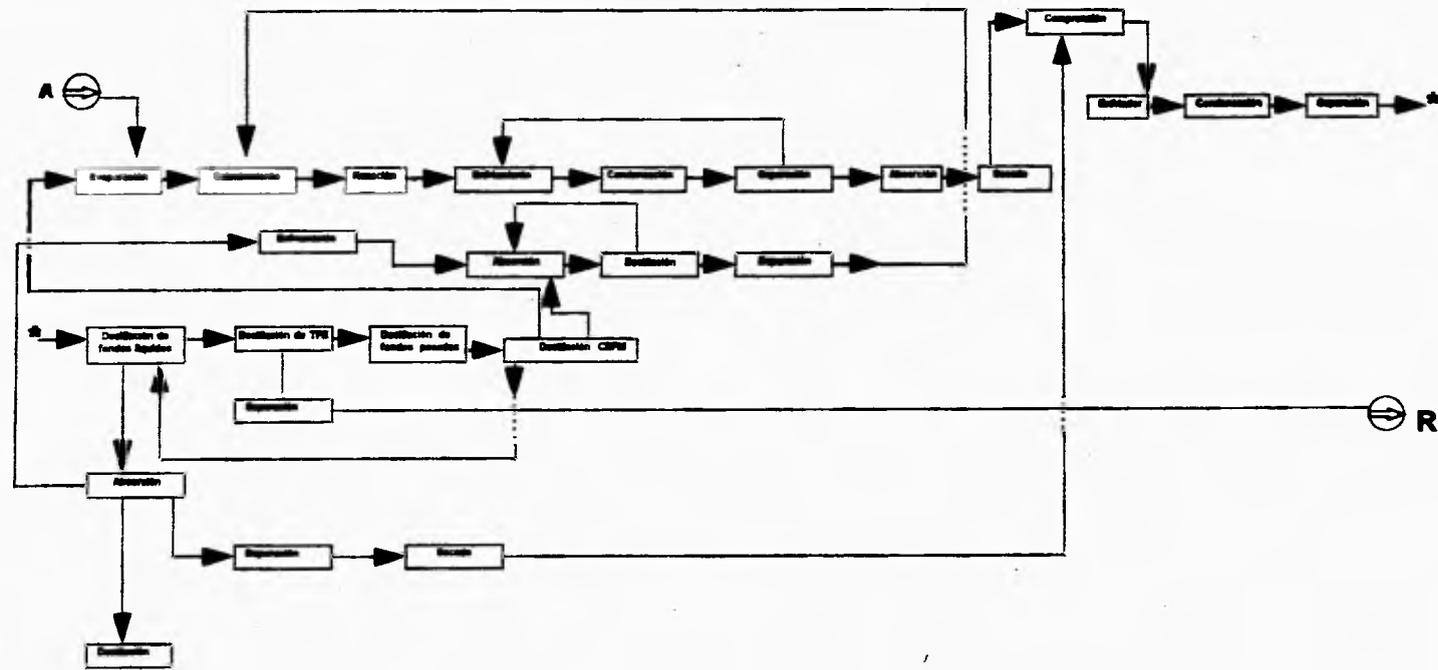
PTFE de TFE por polimerización por suspensión

Capacidad de la planta: 1,800 ton/año
a un factor de operación de 0.9

COMPONENTE	PESO MOLECULAR	CORRIENTES: FLUJO (lb/hr)						
		51	52	53	54	55	56	57
AGUA	18.0	-	-	-	-	-	-	-
NITROGENO	28.0	-	-	-	-	-	-	-
TFE	100.0	-	-	-	-	-	-	-
TRICLOROETILENO	131.5	376.17	trazas	-	-	-	-	-
TERPENOS B	136.0	-	-	-	-	-	-	-
ACIDO CITRICO	192.0	-	-	-	-	-	-	-
PERSULFATO DE AMONIO	228.0	-	-	-	-	-	-	-
PERFLUOROOCTANOATO DE AMONIO	431.0	-	-	-	-	-	-	-
IRYTON X-100	602.0	-	-	-	-	-	-	-
POLITETRAFLUOROETILENO		-	-	513.19	Presente	513.19	5.83	507.36
OTROS		-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (lb/hr)		376.17	0.00	513.19	0.00	513.19	5.83	507.36
(Kg/hr)		170.60	0.00	232.74	0.00	232.74	2.64	230.10

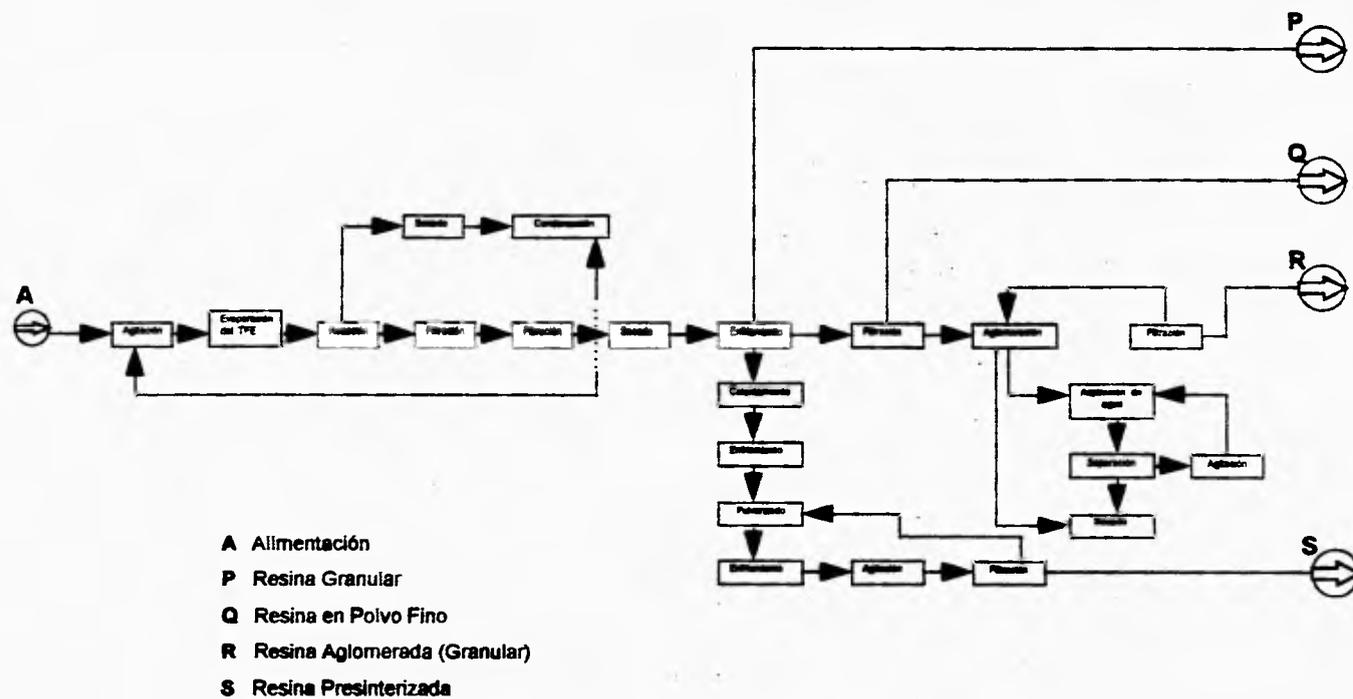
ANEXO F

Diagrama de bloques para la obtención de TFE a partir de CDFM

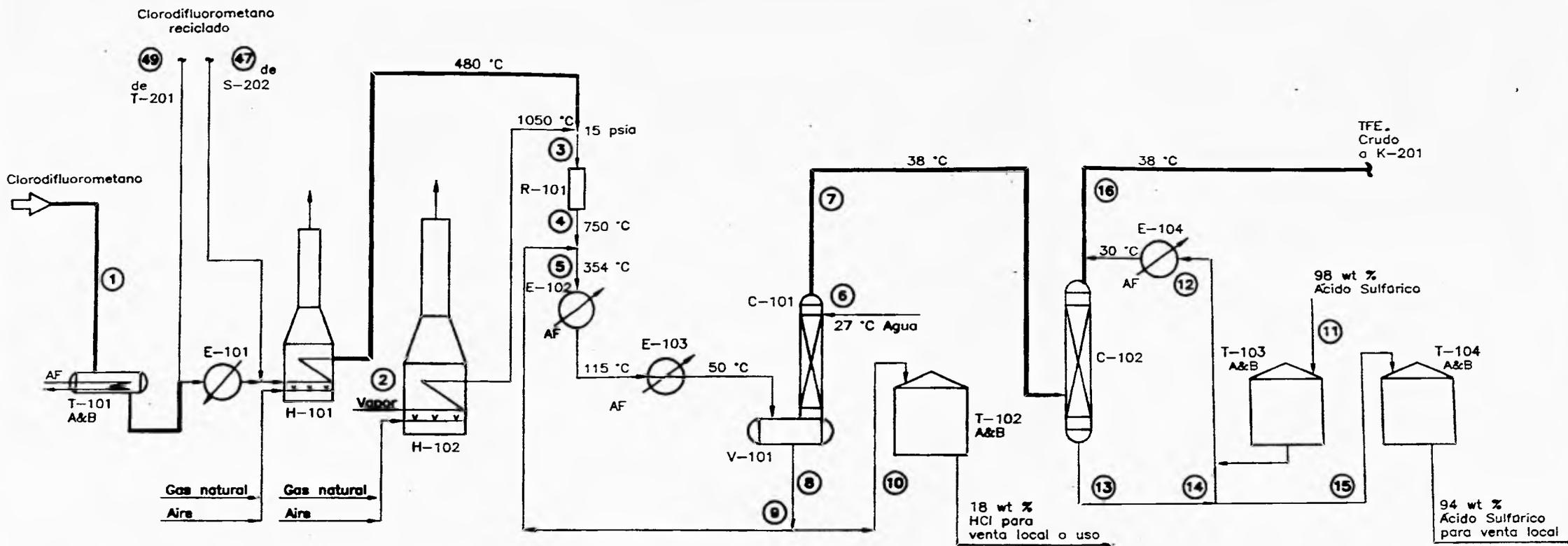


A Alimentación: CDFM
R : TFE

Diagrama de bloques para la obtención de PTFE por suspensión a partir de TFE



ANEXO G



T-101
A&B
Tanques de CDFM

H-101
Calentador
de alimentación
E-101
Vaporizador
de alimentación

H-102
Calentador de
vapor de agua

R-101
Reactor de
TFE
E-102
Enfriador

E-103
Condensador
parcial

C-101
Absorbedor
de HCl
V-101
Tanque de
Separación

T-102 A&B
Tanques de
HCl

E-104
Enfriador
de ácido
C-102
Columna
de secado

T-103 A&B
Tanques de
ácido sulfúrico

T-104 A&B
Tanque de
ácido "húmedo"

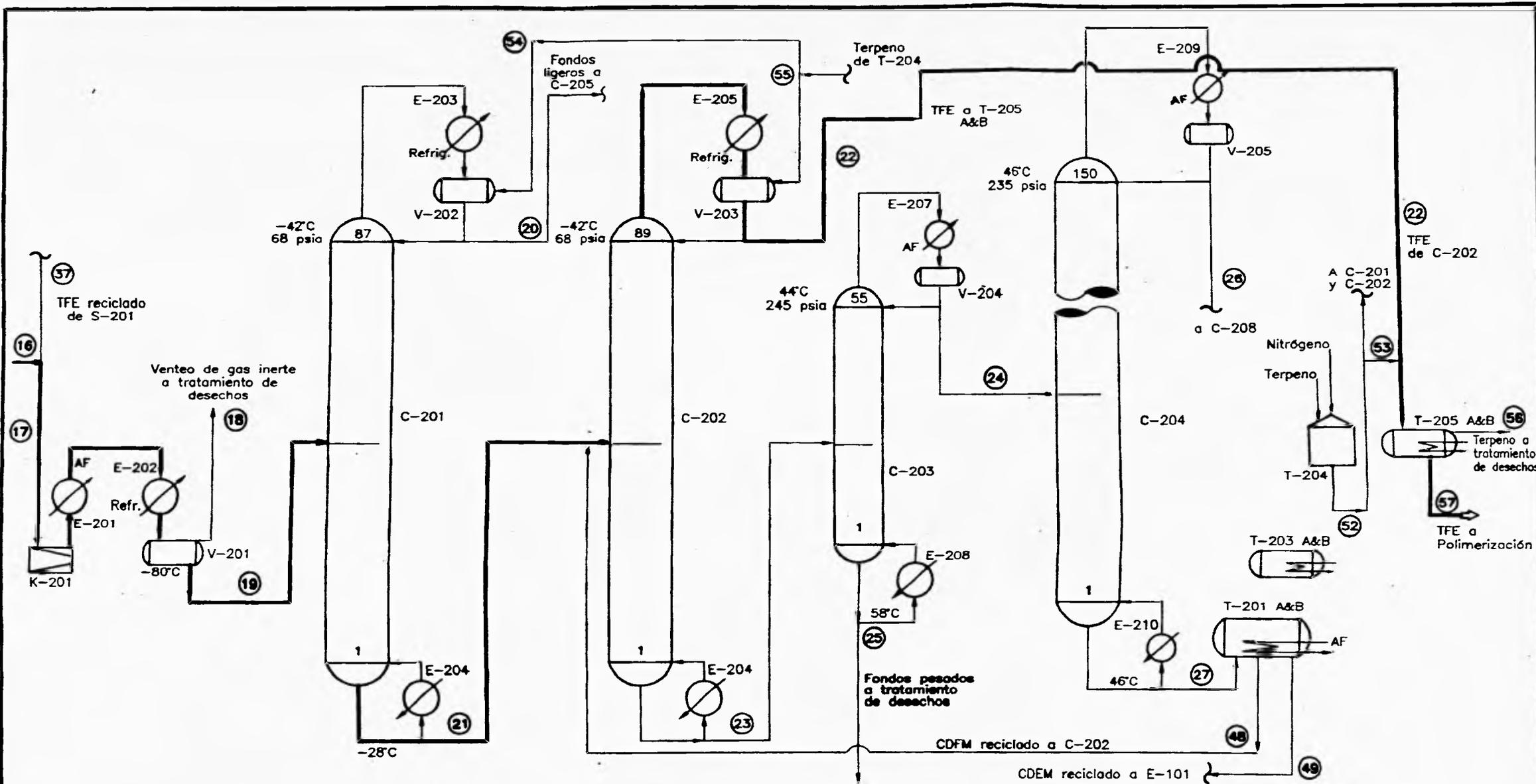
UNAM

FACULTAD DE QUÍMICA

PROYECTO: **TETRAFLUOROETILENO**
DESCRIPCIÓN: **SECCIÓN DE PRODUCCIÓN**
REALIZÓ: **MOLINA RAMÍREZ G. KARINA
MURIZ VARGAS ADRIANA J.**

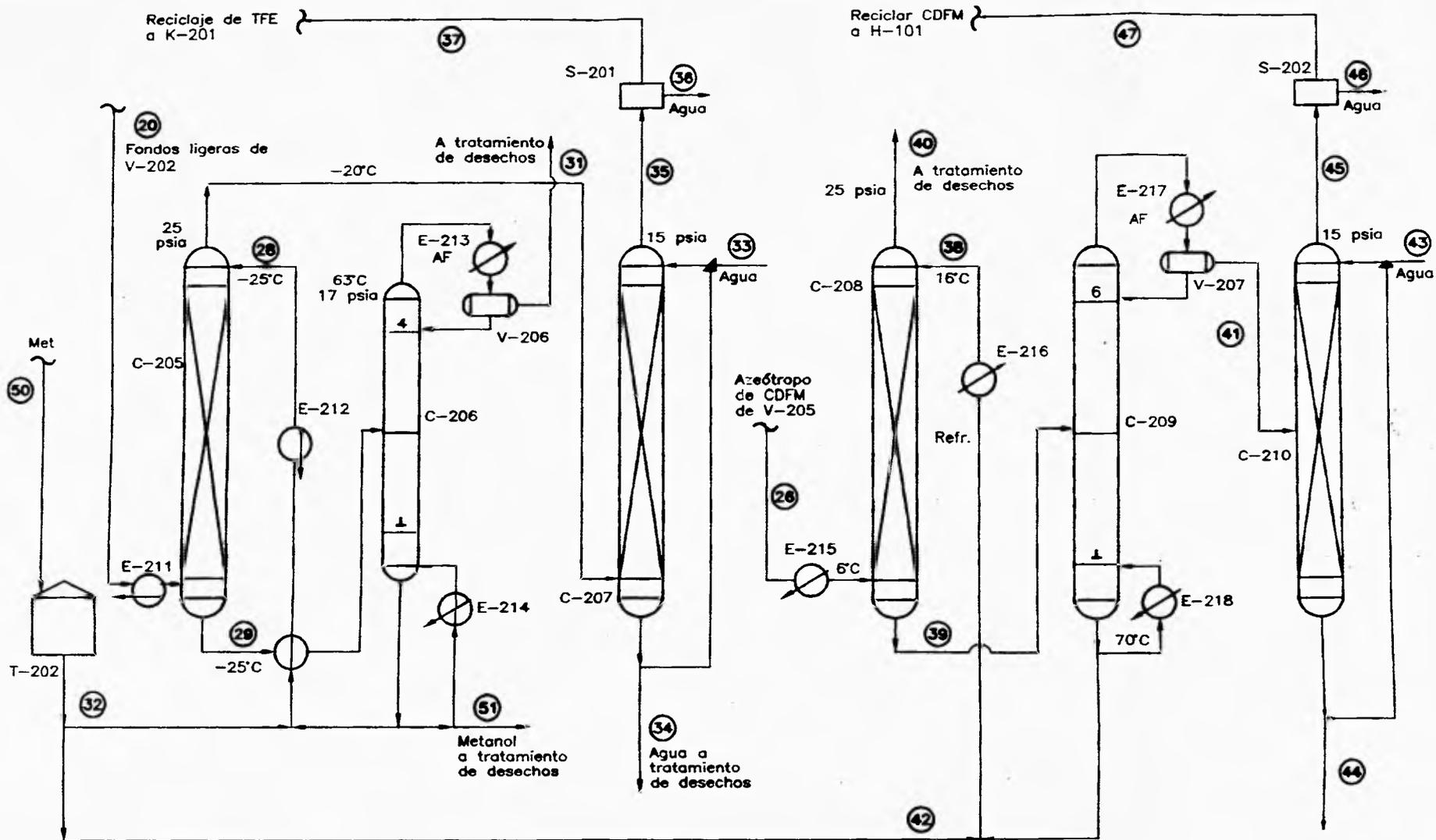
TESIS PROFESIONAL

HOJA: **1/3**
FECHA: **08/07/95**
REVISÓ: **DR. ESCOBAR T.**
DIBUJÓ: **A.R.G.E.**
ARCHIVO: **DQ01.DWG R12**



- K-201 Compresor
- E-201 Enfriador
- E-202 Condensador parcial
- V-201 Tanque de Separación
- C-201 Columna de fondos ligeros
- C-202 Columna de TFE
- C-203 Columna de fondos ligeros
- C-204 Columna de CDFM
- T-201 A&B Tanques de CDFM reciclado

<h1 style="margin: 0;">UNAM</h1> <p style="margin: 0;">FACULTAD DE QUÍMICA</p>	PROYECTO:	TETRAFLUOROETILENO	HOJA:	2/3
	DESCRIPCIÓN:	SECCIÓN DE PURIFICACIÓN I	FECHA:	08/07/95
	REALIZÓ:	MOLINA RAMÍREZ G. KARINA MURIZ VARGAS ADRIANA J.	REVISÓ:	DR. ESCOBAR T.
	TESIS PROFESIONAL		DIBUJÓ:	A.R.G.E.
			ARCHIVO:	DQ02.DWG R12



T-202
Tanques de
Metanol

C-205
Absorbador

C-206
Torre de
Destilación

S-201
Secador

C-208
Absorbador

C-209
Torre de
Destilación

S-202
Secador

T-203 A&B
Tanques de
Servicios generales

T-204
Tanque de
Terpeno

T-205 A&B
Tanque de TFE

C-207
Depurador

C-210
Depurador

UNAM

FACULTAD DE QUÍMICA

PROYECTO:

TETRAFLUOROETILENO

DESCRIPCIÓN:

SECCIÓN DE PURIFICACIÓN II

REALIZÓ:

MOLINA RAMÍREZ G. KARINA
MURIZ VARGAS ADRIANA J.

HOJA:

3/3

FECHA:

10/07/95

REVISÓ:

DR. ESCOBAR T.

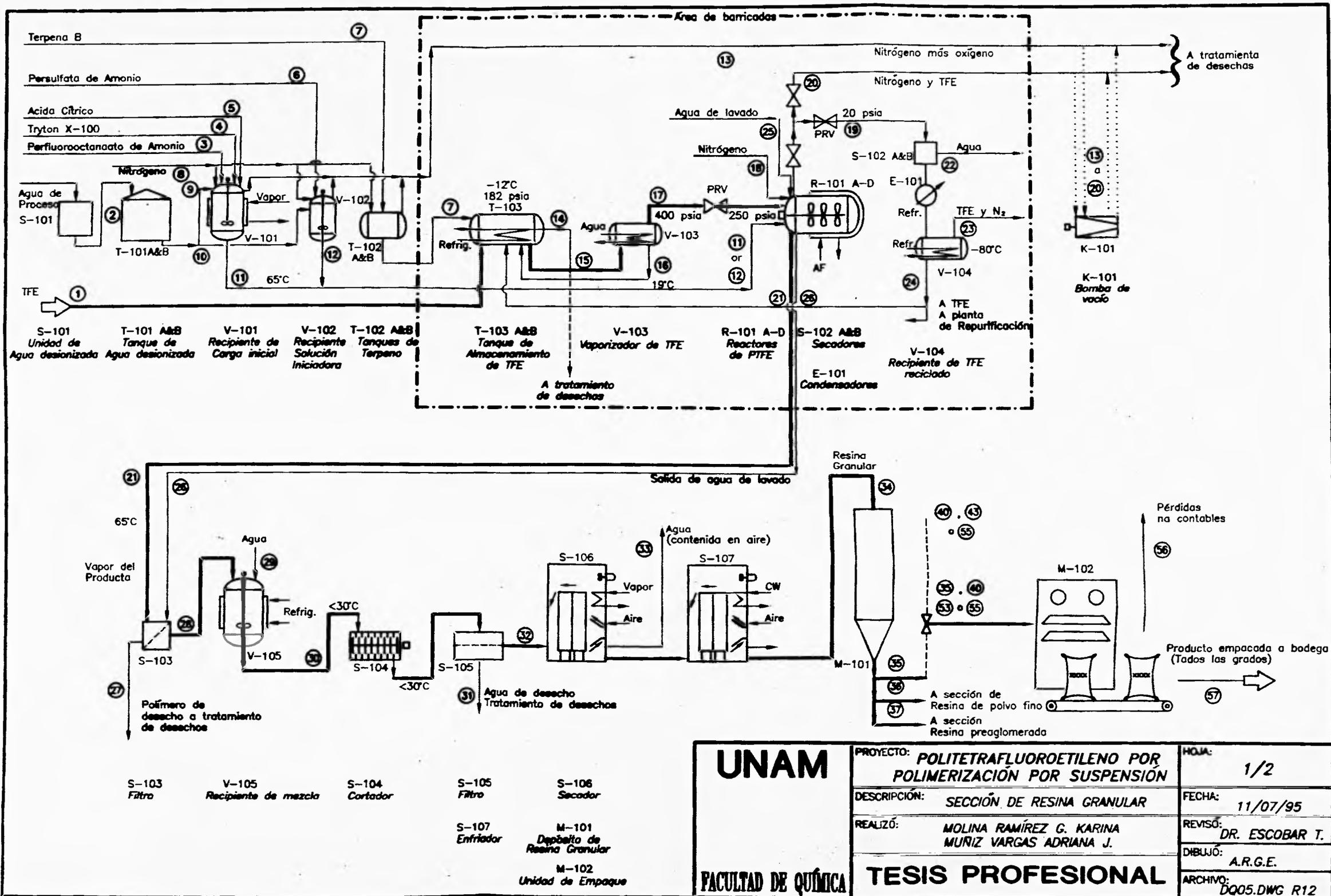
DIBUJÓ:

A.R.G.E.

ARCHIVO:

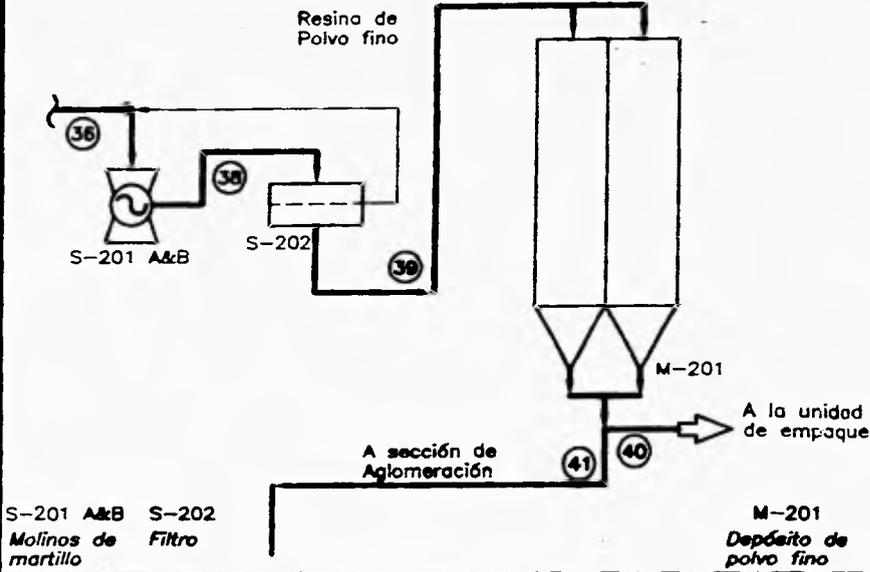
DQ03.DWG R12

TESIS PROFESIONAL

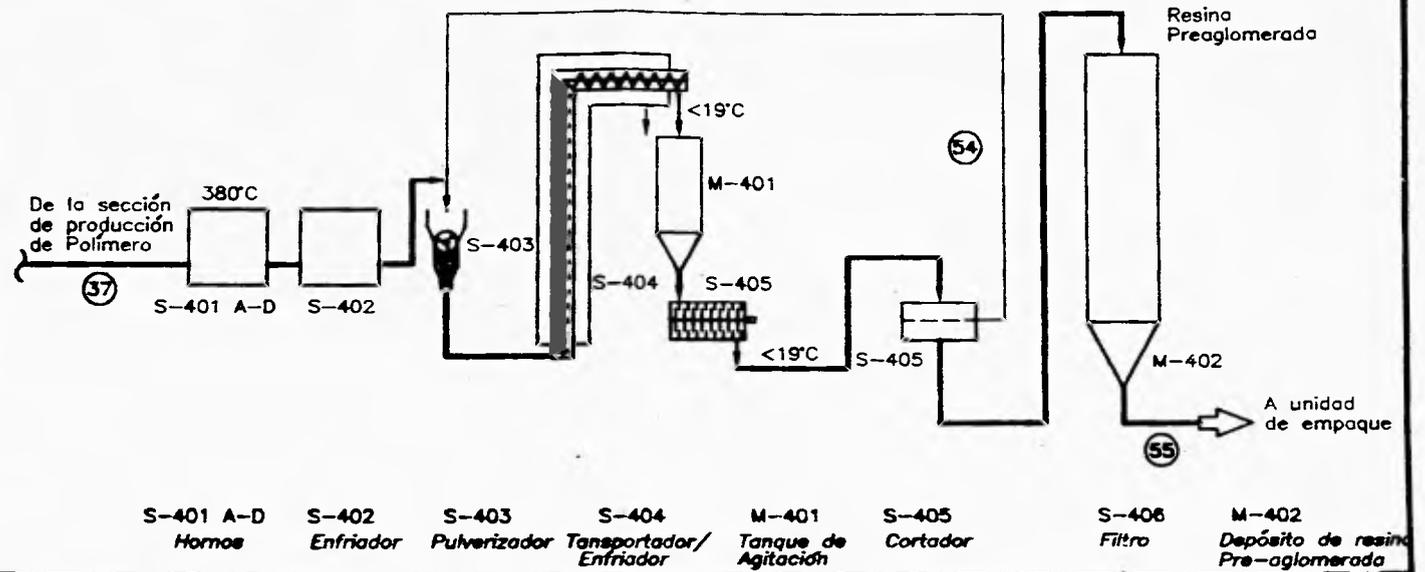


<p>UNAM</p> <p>FACULTAD DE QUÍMICA</p>	<p>PROYECTO: POLITETRAFLUOROETILENO POR POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN</p>	<p>HOLIA: 1/2</p>
	<p>DESCRIPCIÓN: SECCIÓN DE RESINA GRANULAR</p>	<p>FECHA: 11/07/95</p>
	<p>REALIZÓ: MOLINA RAMÍREZ G. KARINA MURIZ VARGAS ADRIANA J.</p>	<p>REVISÓ: DR. ESCOBAR T.</p>
	<p>TESIS PROFESIONAL</p>	
	<p>ARCHIVO: DQ05.DWG R12</p>	

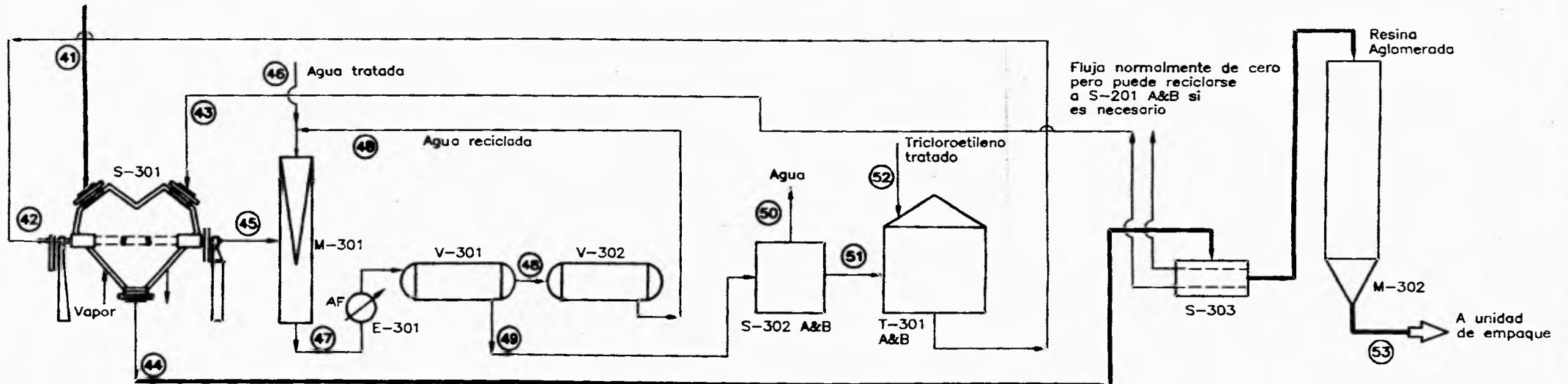
SECCIÓN DE RESINA DE POLVO FINO



SECCIÓN DE RESINA PRE-AGLOMERADA



SECCIÓN DE RESINA AGLOMERADA



T-301 A&B
Tanques de Tricloroetileno

S-303
Filtro



M-302
Depósito de Resina Acumulada

S-301
Aglomerador

M-301
Aspirador de Agua

E-301
Enfriador

V-302
Tanque de Agitación

S-302 A&B
Secadores

UNAM

FACULTAD DE QUÍMICA

PROYECTO: **POLITETRAFLUOROETILENO POR POLIMERIZACIÓN POR SUSPENSIÓN**

DESCRIPCIÓN: **SECCIONES DE SEPARACIÓN**

REALIZÓ: **MOLINA RAMÍREZ G. KARINA MURIZ VARGAS ADRIANA J.**

TESIS PROFESIONAL

HOJA: **2/2**

FECHA: **11/07/95**

REVISÓ: **DR. ESCOBAR T.**

DIBUJÓ: **A.R.G.E.**

ARCHIVO: **DQ04.DWG R12**

GLOSARIO.

Abrasión.	Desgaste por rozamiento.
Agentes acopladores.	Son añadidos para mejorar la unión del polímero con los materiales inorgánicos de relleno, tales como las fibras de vidrio reforzantes.
Agentes antiestáticos.	La mayoría de los polímeros, debido a que son malos conductores eléctricos, generan electricidad estática. Los agentes antiestáticos atraen mayor humedad del aire hacia la superficie del polímero, mejorando la conductividad superficial del polímero y reduciendo la posibilidad de una chispa o descarga eléctrica.
Coefficiente de expansión térmica.	Cambio fraccional en la longitud de un material por grado de cambio de temperatura.
Coefficiente térmico de resistividad.	Magnitud que relaciona el efecto de la temperatura con la resistividad.
Constante dieléctrica.	Relación entre la permitividad eléctrica de un material y la del vacío. Describe así la capacidad relativa de un material para polarizarse y almacenar carga.
Copolímero.	Polímero por adición producido al unir más de un tipo de monómero.
Curva esfuerzo-ruptura.	Método para registrar los resultados de una serie de pruebas de termofluencia graficando al esfuerzo aplicado en función del tiempo de ruptura.
Deformación.	Grado en que se deforma un material por unidad de longitud en un ensayo de tensión.
Deformación elástica.	Deformación del material que desaparece cuando se anula o retira la carga.
Deformación plástica.	Alteración permanente de la longitud del material cuando se aplica una carga y después se retira.

Deformación real.	Deformación efectivamente producida cuando se aplica una carga a un material.
Ductilidad.	Capacidad de un material de ser deformado permanentemente sin que ocurra ruptura cuando se le aplica una fuerza.
Duración a la fatiga.	Número de ciclos a un esfuerzo particular, antes de que un material falle por fatiga.
Elastómeros.	Polímeros que poseen una estructura de cadenas altamente enrolladas y parcialmente ligadas en forma cruzada, permitiendo al polímero tener una deformación elástica excepcional.
Elongación (%).	Alargamiento total, expresado en porcentaje de una probeta durante una prueba o ensayo de tensión, generalmente hasta la ruptura.
Ensayo de dureza.	Mide la resistencia de un material a la penetración de un objeto punzante. Los ensayos comunes son Brinell, Rockwell, Knoop y Vickers.
Ensayo de termofluencia.	Mide la resistencia de un material a la deformación y a la fractura cuando se le somete a una carga estática inferior al esfuerzo de fluencia a temperatura elevada.
Esfuerzo.	Carga o fuerza aplicada dividida entre el área transversal original del material.
Esfuerzo de fluencia.	Esfuerzo aplicado a un material que provoca una deformación plástica permanente. (Cuando corresponde a un punto bien marcado en la gráfica se denomina punto de fluencia).
Extrusión.	Un mecanismo de tornillo fuerza el termoplástico caliente a través de un dado abierto (o boquilla) para producir formas sólidas, películas, hojas, tubos, y aún bolsas plásticas. La extrusión puede ser utilizada también para recubrir alambres y cables.
Flujo en frío.	Se refiere al flujo de un metal por aplicación de presión.
Funcionalidad.	Cantidad de lugares en un monómero donde ocurre la polimerización.
Grado de polimerización.	Cantidad de monómeros en un polímero.

Ley de Hooke.	Relación entre esfuerzo y deformación en la parte elástica de la curva o diagrama respectivo.
Límite de resistencia a la fatiga.	Esfuerzo máximo por debajo del cual un material no llega nunca a la ruptura en un ensayo con esfuerzos cíclicos (prueba de fatiga).
Módulo de elasticidad.	Se determina por la pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la región elástica. Se denomina también módulo de Young.
Monómero.	Molécula a partir de la cual se produce un polímero.
Moldeo por compresión.	Los polímeros termoestables pueden conformarse colocando el material sólido en un molde caliente. La aplicación de temperaturas y presiones altas causa que el polímero se licue, llene el molde e inmediatamente empiece a endurecerse.
Moldeo por inyección.	Los termoplásticos que son calentados por encima de la temperatura de fusión pueden ser forzados dentro de un molde cerrado para producir una figura moldeada. Este proceso es similar al de moldeo en coquilla para los metales. Un émbolo o mecanismo especial de sinfin aplica la presión para forzar al polímero dentro del molde.
Moldeo por soplado.	Un globo caliente de polímero, llamado preforma, es introducido en un molde y, mediante un gas a presión, expandido contra las paredes del dado. Este proceso se utiliza para producir botellas plásticas, recipientes y otras formas huecas.
Moldeo por transferencia.	Aquí se usa un doble intercambiador para los polímeros termofijos. El polímero es calentado bajo presión en un intercambiador; después de fundido el polímero es inyectado en el molde adyacente. Este proceso combina elementos, tanto del moldeo por compresión, como del moldeo por inyección y permite que este último sea usado en los polímeros termofijos.
Permitividad dieléctrica.	Capacidad del material para polarizarse y almacenar una carga dentro de sí.
Piezoelectrico.	Capacidad de algunos materiales de admitir un cambio en el campo eléctrico que a su vez modifique las dimensiones del

	material, en tanto que un cambio en las dimensiones produce un campo eléctrico.
Pirólisis.	Descomposición química bajo la acción del calor. Descomposición térmica de los compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno.
Polvometalurgia.	<i>Powder metallurgy.</i> Técnica para fabricar piezas y objetos comprimiendo metales finamente pulverizados en moldes apropiados y, tratando luego la pieza, a una temperatura inferior a la de fusión del metal.
Polímero por adición.	Cadenas de polímeros constituidas por monómeros de adición, sin crear un producto secundario.
Polímero por condensación.	Cadenas de polímeros constituidas por una reacción química entre dos o más moléculas, resultando un producto secundario.
Polímeros termoestables.	Polímeros que se producen a temperaturas elevadas, liberando un producto secundario que por ello restringe su reciclabilidad.
Polímeros termoplásticos.	Polímeros que pueden ser recalentados muchas veces, puesto que no se forman productos secundarios durante el procesamiento.
Resistencia al arrastre.	Es una propiedad del material que indica la resistencia a una deformación continua, lenta en largos períodos de tiempo a elevadas temperaturas.
Resistencia a la fatiga.	Esfuerzo requerido para provocar la ruptura por fatiga en 500 millones de ciclos.
Resistencia a la inflamación.	Propiedad de un material que le impide quemar con llama una vez retirada la fuente de calor.
Resistencia a la tensión.	Esfuerzo que corresponde a la carga máxima en una prueba de tensión.
Resistividad por volumen	El recíproco de la conductividad por volumen, el cual es un parámetro a régimen permanente (steady-state). Las unidades son siemens (ohm^{-1}).

Rigidez.	Medida cualitativa de la deformación elástica producida en un material. Un material rígido tiene un alto módulo de elasticidad.
Rigidez dieléctrica.	Propiedad de un dieléctrico de oponerse a la descarga disruptiva; se mide por la intensidad del campo eléctrico susceptible de producir dicha descarga.
Sinterizar.	Soldar o conglomerar (aglomerar) metales o materiales plásticos pulverulentos sin alcanzar la temperatura de fusión.
Spaghetti	Manguito o tubillo de material aislante utilizado para aislar o proteger hilos o conductores desnudos, o para dar mayor protección a un grupo de hilos aislados. Se fabrica en diversos diámetros, para un solo conductor o mazos de ellos. El material puede ser algún plástico o puede ser un tejido barnizado o una tela impregnada en aceite aislante y luego recocida.
Surfactante.	Agente que modifica las características físicas, eléctricas o químicas de la superficie de un sólido o las tensiones superficiales de los sólidos o líquidos. Se utiliza en flotación y detergencia.
Tiempo de ruptura.	Tiempo necesario para que falle un material por termofluencia a una temperatura y esfuerzo determinados.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ackoff, R.L. 1970. A concept of corporate planning. New York, U.S.A. John Wiley
- (2) Ackoff, R.L. 1981. Creating the corporate future. New York: John Wiley U.S.A.
- (3) Anderson, J., Durston, B. H., Poole, M. 1993. Redacción de tesis y trabajos escolares. Diana.
- (4) Askeland, Donald P. 1989. La ciencia e Ingeniería de los materiales. Traducido por Guerrero Z., J. Gonzalo. Grupo editorial Iberoamérica.
- (5) Brandup, J., Immergot, E.H., Polymer handbook. Wiley-Interscience Publication, (3a. ed.). John Wiley, V. 35, V. 43.
- (6) Charrier, Jean-Michel. 1993. Polymeric materials and processing plastics, elastomers and compositers. New York, U.S.A.: Hanser Publishers
- (7) Chanda, Manas. Roy, Salil K. 1987. Plastics technology handbook. New York, U.S.A.:Marcel Dekker, Inc.
- (8) Chemical economics handbook. 1992. Menlo Park, California., U.S.A.: Stanford Research Institute.
- (9) Chemical Engineering. January, 1995, Vol. 102 No. 1, pág. 160.
- (10) Coss Bu, Raúl, 1986. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. (2a. de.). México: Limusa.
- (11) Dominick, S. 1982. Econometría. New York, U.S.A.: Shaum, Mc Graw Hill
- (12) Dow handbook for sulfuric acid piping systems. 1995. Dow Chemical.
- (13) EL FINANCIERO. Agosto 8, 1995.
- (14) EL INVERSIONISTA MEXICANO. Mexico Data Bank, 1992.
- (15) Encyclopedia of Chemical Technology. 1969. New York: Wiley. Vol. 19.

- (16) Engineered materials handbook. Engineering plastics, Vol. 2, ASTM International.
- (17) Escobar, T., Carlos E. 1995. Sistema de modelos para la planeación de la industria petroquímica de México. México, D.F.: Academia Mexicana de Ingeniería.
- (18) Escobar, T., Carlos E. 1989. Las relaciones entre la política energética y el desarrollo industrial: un modelo de simulación para planificar la industria petroquímica en México, México, D.F.: Documentos de Análisis y Prospectiva del Programa Universitario de Energía.
- (19) Escobar, T., Carlos E. 1991. Las rutas tecnológicas de uso eficiente de energía en la industria petroquímica de México. México, D.F.: Dynamis.
- (20) Escobar, T., Carlos E. (Responsable) y Montiel, M., Celestino (Corresponsable). 1991-1993. Optimización de las rutas y procesos tecnológicos de la industria petroquímica en México. México, D.F.: Dirección General de Asuntos del personal Académico, Proyecto IN 308191.
- (21) Escobar, T., Carlos E y Rodríguez R., Fernando. 1994. Metodologías para la evaluación de tecnologías aplicación al cálculo del valor agregado en cadenas petroquímicas. Revista IMIQ. Año XXXV. Vol. 4, Abril.
- (22) EXCELSIOR, Agosto 12, 1995.
- (23) Fitzpatrick, J. E. Polyamide-imides (PAI). Amoco Performance Products, Inc.
- (24) Gamboa, S., Antonio. 1995. Polímeros. Revista Educación Química,
- (25) Happel. Economía de los procesos químicos.
- (26) Helmes, Emily B. Fluoropolymer markets- the United States, Western Europe and Japan. Menlo Park, California: Chemical Business Center, SRI International,
- (27) Hunt, V. Daniel, 1984. Diccionario de energía. Barcelona: Publicaciones Marcombo, S. A., págs. 100, 333, 446.
- (28) INEGI (1965-1992). Anuarios estadísticos de importaciones y exportaciones de México". México: INEGI,
- (29) Jay, Frank y Goets, J.A., 1988. IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms. (4a. de.). New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., págs. 543, 830.

- (30) Jerrard, H. G. y Mc Neill, D. B., 1980. A dictionary of scientific units. (4a. de.). Chapman and Hall. 57, 115.
- (31) Kirk-Othmer. Encyclopedia of chemical technology. Wiley- Interscience, Vol. 6, 9 y 10.
- (32) Kroschwitz, Jacqueline I. 1987. Polymers: An encyclopedia sourcebook of engineering properties. Encyclopedia Reprint Series. U.S.A.: John Wiley & Sons., págs. 57.
- (33) Lewis, Richard J. 1993. Hazardous chemical desk reference. (3a. de.). New York, U.S.A.: Van Nostrand Reinhold.
- (34) Maddala, G.S. 1985. Econometría. España: Mc Graw Hill.
- (35) Makridakis, S., Wheel. R. S., McGree, Víctor. 1983. Forecasting: methods and applications. U.S.A.: John Wiley.
- (36) Margrave, J.L., Lagow, R.I., J. 1974. Polym. Sci. Polym. Lett. Ed. 12, pág. 177
- (37) Mason, Robert D., Lind, Douglas A. Estadística para administración y economía. U.S.A.: AlfaOmega.
- (38) Miklos, T., Tello, M.E.. 1993. Planeación interactiva. Limusa, Noriega Editores
- (39) Myers, Drew. 1991. Surfaces, Interfaces and Colloids. Principles and Applications. New York: VHC Publishers, Inc., págs. 32-33.
- (40) Otsuka, A.J., Lagow, R.I. J. 1974. Fluorine Chemistry., 4, pág. 371.
- (41) Peters and Timmerhaus. Plant design and economics for chemical engineers. (4a de.). Mc Graw Hill.
- (42) Riegel's handbook of industrial chemistry. 1992. Ninth Edition. New York U.S.A.: Edited by James A. Kent, Ph. D., Van Nostrand Reinhold.
- (43) Rowan, H.I. Thermoplastic fluoropolymers. E.I. Du Pont de Nemours and Co., Inc.
- (44) Seely, F.B.; Smith, J.O. 1963. Resistencia de materiales. México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana (UTEHA). págs. 13-14.
- (45) Spi plastics engineering handbook of the society of the plastics industry, Inc. 1991. Van Nostrand Reinhold.

- (46) Saunders, K.J. Organic polymer chemistry. Second Edition. Chapman and Hall.
- (47) Steiner, G.A. 1979. Strategic planning. Free Press.
- (48) The chemical industry. C.A. Heaton Blackie.
- (49) Tirado de Alonso, I., Dutta, M. 1982. Métodos econométricos. Cincinnati, Ohio, U.S.A.: South-Western Publishing, Co.
- (50) Valdés José de J. Efecto del costo de capital en la competitividad de las empresas petroquímicas. 1991. Memorias Banamex, Taller de trabajos de la Industria Petroquímica ante la comunidad económica europea.
- (51) Wood, A., Morris, G. 1994. Mexico, signs of improvement after a tough year. Chemical Week.