

132
24-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA



EXÁMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

“Análisis de la situación del Polietileno.
Caso Petroquímica en México”

TESIS MANCOMUNADA
Que para obtener el título de
INGENIERO QUÍMICO
presentan
PÉREZ RODRÍGUEZ ANTONIO
RODRÍGUEZ GALINDO ROSA MARÍA



México, D.F.

1998

265831

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

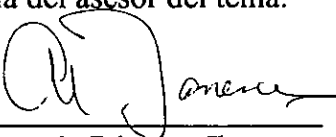
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Padilla De Alba José Luis
Vocal	Prof. López Torres Arturo
Secretario	Prof. Bárcena Ibarra Agustín
1 ^{er} Suplente	Prof. Villalobos Hiriart Alejandro
2 ^{do} Suplente	Prof. Pérez Gabriel Baldomero


Sitio donde se desarrollo el tema:
Secretaría de Energía.

Nombre completo y firma del asesor del tema.




Agustín Bárcena Ibarra

Nombre completo y firma de los sustentantes.



Rosa María Rodríguez Galindo



Antonio Pérez Rodríguez

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, porque siempre me han brindado la oportunidad de superarme y me apoyan en todo y para todo. Gracias, porque los amo.

A mis hermanos y a Mónica, porque he aprendido de cada uno de ellos la diferencia del ser y me han demostrado que siempre estarán a mi lado.

A mis sobrinos, que todos los días me regalan una hermosa sonrisa y su dulce voz.

A mis niños, que día a día me dan un pedacito de su vida y sólo me ofrecen alegrías. Los quiero mucho.

A la Familia Pérez Rodríguez que me ha demostrado cariño y apoyo en todo momento.

A mi maestra QFB. Florelinda Chávez que me inspiró a estudiar esta carrera.

A Rosalba, Leticia y Claudia que son las mejores amigas que podría tener y que me han apoyado incondicionalmente.

A mi mejor amigo, Alberto, porque hemos compartido tiempo y vida.

A mis amigos y amigas del Fútbol, sobretodo a Paola, Tony y Aurora.

Especialmente a Toño que ha sido parte fundamental en mi vida y que sin su ayuda no se hubiera logrado lo ahora escrito.

A mi gran ejemplo, quien con su apoyo, su guía y cariño han hecho de mí un profesionalista. Me siento muy orgulloso de que seas mi padre. Por fin se ha cumplido nuestro sueño.

Mamá, porque siempre estuviste detrás y me apoyaste en los momentos más difíciles, y que gracias a tu amor y confianza he logrado este pequeño paso en mi vida. Sin ti no hubiera podido llegar. Te amo.

A Dany, Muñe y Mity con quienes comparto mi vida, mis alegrías y a veces mis enojos, pero que a pesar de todo me comprenden. Los quiero mucho.

A Chiquito, quien sólo da cariño y amor sin esperar nada a cambio.

A Luzma y toda su familia, quien siempre me han tratado como un miembro más, y me ayudaron en los momentos más críticos. Gracias, sin su determinación no lo hubiera conseguido.

A mis abuelitos, mis tíos, mis primos, de quienes siempre he tenido palabras de aliento y me han ofrecido su valiosa y muy gratificante compañía.

A Juan y su familia, por brindarme su amistad sincera y apoyo incondicional.

Y muy en especial a mi Bella, con quien he compartido los mejores y más hermosos momentos, que con su amor y ternura construyen día a día un mundo sin igual, siendo fundamental en mi vida.

A todos ustedes les dedico este trabajo. Sin su apoyo no se hubiese realizado, porque todos y cada uno contribuyeron con un granito de arena para lograrlo; es *nuestro* trabajo. Gracias por confiar en mí.

AL MEJOR Y MÁS QUERIDO MAESTRO, EL INGENIERO AGUSTÍN BARCENA, DE TODO CORAZÓN PORQUE NOS HA BRINDADO MUCHAS OPORTUNIDADES EN EL DESARROLLO DE NUESTRA VIDA PROFESIONAL, Y ESPECIALMENTE EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, QUIEN CON SU EJEMPLO DEJÓ EN NOSOTROS UNA HUELLA IMBORRABLE COMO PROFESOR, COMO PROFESIONISTA, COMO UN AMIGO SIN IGUAL.

Al Lic. F. Javier Casas Guzmán, Lic. José Luis Vázquez Ponce, Lic. Manuel López Téllez, Lic. Arístides Florentino, Lic. Javier Tejado, Lic. J. Arturo Hidalgo, Lic. Laura Miranda, Lic. Manuel Estrada, CP. Rafael Pizano, Ing. Humberto Chavira, Ing. José Reyes Vázquez, Lic. Gabriel González, Graciela, Ilse, Abril, Laura, Mauricio y a todo el personal de la Secretaría de Energía que nos apoya y estima.

A nuestros maestros y amigos IQ. Arturo Madrid Peralta (†), Q. Elizabeth Nieto, IQ. Manuel Vázquez Islas, Dr. Reynaldo Sandoval, IQ Gabriel De la Rosa, Dra. Antonia Dosal, IQ. Susana Flores, IQ. Lucila, IQ. Luis Miguel, QFB. Raúl Garza, que forjaron nuestro espíritu y enseñanza.

Al IQ. Arturo López Torres por su apoyo en la realización de esta Tesis.

A todos nuestros compañeros de generación y de la Facultad.

A nuestra muy querida Facultad de Química y principalmente a la UNAM por esta gran oportunidad de estudiar y superarnos en la vida, y así lograr algo más para éste, nuestro México Querido.

A la Secretaría de Energía, Petroquímica Escolín, en especial al Ing. Carlos López Blumenkron, y al Instituto Mexicano del Plástico Industrial (Capítulo I) por su ayuda en la documentación de este trabajo.

A todos, MUCHAS GRACIAS!

INDICE

Indice

Indice de cuadros

Indice de figuras

INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	
PANORAMA DE LA PETROQUÍMICA	5
INDUSTRIA PETROQUÍMICA MUNDIAL	8
INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN MÉXICO	12
LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN EL RAMO DEL PETRÓLEO	14
1. ANTECEDENTES DE LA PETROQUÍMICA EN MÉXICO.	
1.1 Primeros años (1959-1983)	21
1.2 Las reformas constitucionales en materia económica	24
2. EL PRIMER PROYECTO DE DESINCORPORACIÓN.	
2.1 El proyecto de 1992	26
2.2 La petroquímica en el Tratado de Libre Comercio	27
2.3 La nueva administración retoma el proyecto de desincorporar la petroquímica secundaria	29
2.4 Los lineamientos de la Comisión Intersecretarial y los acuerdos de desincorporación	30
3. TEXTO VIGENTE DE LA LEY REGLAMENTARIA DEL ARTÍCULO 27 CONSTITUCIONAL EN EL RAMO DEL PETRÓLEO.	32

PRIMERA SECCIÓN.

CAPÍTULO I.	
GENERALIDADES	40
1.1 Historia	40
1.2 Materias primas	42
1.3 Clasificación	45
1.4 Estructura	49
1.5 Producción	51
1.6 Procesos de transformación	52

CAPÍTULO II.	
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y DE MERCADO.	60
2.1 Capacidad y producción	62
2.2 Oferta y demanda	64
2.3 Precios	69
2.4 Márgenes de efectivo	73

CAPÍTULO III.	
ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN	76
3.1 Descripción de Petroquímica Escolín, S.A de C.V.	76
3.2 Análisis por plástico	80
3.3 Condiciones de proceso	99

SEGUNDA SECCIÓN.

CAPÍTULO IV	
MATERIAS PRIMAS DE LAS OLEFINAS	107
4.1 Disponibilidad nacional de materias primas para olefinas	109
4.2 Cadena productiva del etileno	113
4.3 Alternativas de producción de etileno	117

CAPÍTULO V	
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	128
5.1 Etileno	130
5.2 Centro procesador de gas Poza Rica	134
CONCLUSIONES	150
ANEXO	
ECONÓMICO	153
NUEVOS DESARROLLOS. CATALIZADORES	163
POLIETILENOS	177
RECICLADO	186
TÉRMINOS Y ESQUEMAS DE APOYO	191
BIBLIOGRAFÍA	210

INDICE DE CUADROS

I-1	Clasificación de productos petroquímicos por cadena	35
1.2	Clasificación de productos petroquímicos por año	36
1.3	Clasificación de petroquímicos por productos	37
1.1	Efectos del aumento de la densidad en el polietileno	47
1.2	Clasificación según el peso molecular	48
1.3	Efectos del aumento del peso molecular en el PE	49
1.4	Usos del polietileno	53
2.1	Capacidad instalada de PEAD y PEBD	62
2.2	Producción de PEAD por centro petroquímico	63
2.3	Producción de PEBD por centro petroquímico	63
2.4	Mercado de PEBD	65
2.5	Mercado de PEAD	66
2.6	Volumen de las ventas internas	68
2.7	Valor de las ventas internas	69
2.8	Precio al público mensuales	70
2.9	Precios al público (promedio)	71
2.10	Precios internacionales de PEBD	72
2.11	Precios internacionales de PEAD	72
3.1	Condiciones de proceso para PE's	104
4.1	Materias primas empleadas en la producción de olefinas en base a 1 ton. de etileno (kg)	109
4.2	Origen de los petroquímicos por fuente de materias primas (porcentaje)	110
4.3	Etileno y su cadena de derivados	113
4.4	Capacidad instalada etileno	114
4.5	Producción de etileno por centro petroquímico	114
4.6	Etileno requerido para cubrir el déficit en cadenas productivas	115
4.7	Balance oferta-demanda del etileno en México	115
4.8	Producción y disponibilidad de etano en PGPB	120
4.9	Capacidad instalada etano	121
4.10	Producción de etano por complejo	121
4.11	Ventajas por materia prima	123

4.12	Características de crudos	125
4.13	Producción de etileno por fracción	125
4.14	Rendimiento de diversas materias primas	125
5.1	Alimentación gas amargo-gas troncal	137
5.2	Producción de gas seco-etano	137
5.3	Capacidad de ductos	138
5.4	Sistemas de compresión	139
5.5	Balance demanda-importaciones de gas natural	142
A-1	Economía de proceso. Polietileno	154
A-2	Economía política del etileno en los Estados Unidos	155
A-3	Economía del LDPE. Proceso convencional de lata presión tubular	156
A-4	Economía del HDPE. Proceso Ziegler Slury (two reactors)	157
A-5	Economía del HDPE. Proceso Phillips Loop Slury	158
A-6	Precios internacionales de los principales hidrocarburos	159
A-7	México. Capacidad de etileno. Balance para 1994	160
A-8	México. Tabla del comercio mundial de LDPE 1997	161
A-9	México. Tabla del comercio mundial de HDPE 1997	162
A-10	Principales productores de mPE por región	168
A-11	Principales productores de mPE por América	170
A-12	Principales productores de mPE por Europa	171
A-13	Principales productores de mPE por Asia	172
A-14	Fuentes potenciales de tecnología de metalocenos	174
A-15	Codificación de materiales reciclados	188
A-16	Estabilización del PEAD por el uso de fosfitos	189
A-17	Factores de conversión	206
A-18	Pesos específicos de productos seleccionados	207

INDICE DE FIGURAS

I-1	Complejos de Pemex Petroquímica	7
1.1	Obtención de etileno a partir de gas natural	43
1.2	Obtención de etileno a partir de petróleo	44
2.1	Utilización de la capacidad instalada Asia y Norteamérica (por ciento)	61
2.2	Precio de productos petroquímicos	62
2.3	Producción de PEAD por centro petroquímico	63
2.4	Producción de PEBD por centro petroquímico	64
2.5	Mercado de PEBD	65
2.6	Mercado de PEAD	67
2.7	Volumen de las ventas internas	68
2.8	Valor de las ventas internas	69
2.9	Precio al público (promedio)	71
2.10	Márgenes de efectivo PEBD-Etileno	73
2.11	Márgenes de efectivo PEAD-Etileno	74
3.1	Ubicación de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.	77
3.2	Diagrama de bloques de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.	78
3.3	Esquema productivo de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.	78
3.4	Ramificaciones de los polietilenos	80
3.5	Estructura de nombre del polietileno	81
3.6	Densidad vs. Índice de fluidez	83
3.7	Usos del PEBD	86
3.8	Usos del PEAD	94
4.1	Productos de la destilación del petróleo	107
4.2	Productos del gas natural	108
4.3	Insumos para la petroquímica	111
4.4	Cadenas productivas de los petroquímicos primarios	112
4.5	Balance del etileno en México	116
4.6	Cadena productiva del etileno	117
4.7	Producción de etano	122
5.1	Posición competitiva de la producción de etileno a partir de etano	133
5.2	Red nacional de ductos de gas natural	135

5.3	Producción de etano	136
5.4	Esquema de la red de ductos en la zona de Poza Rica	138
5.5	Demanda de etano (mbd)	140
5.6	Demanda de etano (tpd)	140
5.7	Demanda de gas seco en el país	141
5.8	Oferta gas amargo	143
5.9	Balance de etano-región sur (gráfico)	144
5.10	Balance de etano-región sur (mapa)	145
5.11	Producción de etano en CPG Poza Rica	146
A-1	Destilación de Petróleo Crudo	208

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La industria petroquímica en México tiene la oportunidad de generar un mayor valor económico con el futuro aumento de las materias primas por parte de Pemex.

Esta es la razón de la presente tesis. Estudiar el comportamiento de la petroquímica en México, desarrollando estrategias y alternativas para aumentar su valor.

El tema de análisis se centra en uno de los petroquímicos más importantes, con mayor proyección y auge en la industria: el polietileno.

El trabajo consta de dos capítulos principales:

- El primero se refiere al análisis del polietileno en México, en sus diferentes grados comerciales, y el porqué algunos de éstos no se fabrican en el país, a pesar de que existe una demanda interna (de ahí su importación). Por otro lado, su exportación puede ser importante a la balanza comercial mexicana. Con el objeto de exponer y desarrollar mejor el tema, seleccionamos a la empresa Petroquímica Escolín, S.A. de C.V., una de las 4 empresas productoras de polietileno, en virtud de ser la que más potencial presenta para diversificar su producción.
- El segundo, ya dentro del análisis de Escolín, parte de la premisa de que al aumentar la producción de polietileno, se tendrá la necesidad de incrementar la cantidad de materia prima que llega al centro petroquímico. Debido a esto es necesario analizar las diversas alternativas que existen para alimentar, de manera constante y por un periodo de tiempo razonable, el etileno necesario para ello. De no hacerlo, no se justificaría plenamente la inversión que se realizará para la producción y no se cumpliría el argumento principal de la investigación, que es el de minimizar las importaciones de estos productos y en su caso buscar la exportación, ya que la materia prima (etano) abunda en nuestro país, además de que contamos con la tecnología necesaria para su transformación, su posterior transporte y una gran demanda nacional e internacional.

México tiene una demanda creciente de polietileno, sin embargo, la industria posee una oferta insuficiente y una desventaja de costos.

La demanda de polietileno y otros plásticos en México ha permanecido baja comparada con otros países, pero conforme crece la economía, la demanda por plásticos deberá crecer. De hecho, las proyecciones indican que para el año 2000, la demanda de polietileno en México crecerá lo suficiente para soportar la construcción de una planta a escala mundial de PELBD.

Con la ventaja de México en materia prima, es deseable emprender acciones para lograr una proposición competitiva en la industria del etileno y el polietileno. Deberán mejorarse las operaciones en las plantas existentes con el fin de ampliar la línea de productos, mejorar la tecnología e incrementar la capacidad. Adicionalmente, existe un buen número de oportunidades para promover y/o participar en inversiones con el sector privado en etileno y polietileno.

Un elemento fundamental para capturar las oportunidades en el polietileno es el fortalecimiento de los canales de comercialización. La elaboración de polietilenos que demanda el mercado y el desarrollo de estrategias para dar un mejor servicio al cliente permitirían obtener utilidades significativas.

Pero las oportunidades para incrementar la capacidad de producción de los polietilenos esta condicionada al mayor aprovechamiento del etano que llega a la planta para incrementar la producción de etileno. De aquí la importancia y necesidad del estudio complementario del suministro de etano a las plantas para satisfacer su demanda y aprovechar su capacidad instalada al máximo.

ANTECEDENTES

ANTECEDENTES

PANORAMA DE LA PETROQUÍMICA.

La economía mundial, al igual que la del país, está inmersa en un proceso continuo de modernización, donde los cambios son tan dinámicos que obligan a tomar acciones para ser cada día más competitivos.

Con el proceso de apertura comercial que se inicia con el Acuerdo General sobre Aranceles y después con la firma del Tratado de Libre Comercio en 1994, las empresas se ven obligadas a adoptar políticas cuyo ámbito de acción sean actividades estratégicas para eficientar y mejorar los procesos y servicios que ofrecen.

En México, el modelo actual abandona la promoción y el fomento industrial a partir de la concesión indiscriminada de subsidios y se sitúa en una perspectiva de eficiencia microeconómica en la que la rentabilidad y competitividad son los criterios rectores.

La concretización de la modernización económica en la empresa más importante de México, Pemex, se inicia con la reestructuración por líneas de negocios y la formación de cuatro organismos subsidiarios.

1. Pemex Exploración y Producción
2. Pemex Refinación
3. Pemex Gas y Petroquímica Básica
4. Pemex Petroquímica

Respecto a Pemex Petroquímica, la modernización se inicia con la aprobación para constituir diez empresas filiales de participación estatal mayoritaria, siete de las cuales actualmente están ya constituidas.

1. Petroquímica Cangrejera, S.A. de C.V.
2. Petroquímica Morelos, S.A. de C.V.
3. Petroquímica Cosoleacaque, S.A. de C.V.
4. Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.
5. Petroquímica Camargo, S.A. de C.V.
6. Petroquímica Tula, S.A. de C.V.
7. Petroquímica Pajaritos, S.A. de C.V.
8. Unidad Petroquímica Salamanca
9. Complejo Petroquímico Independencia
10. Unidad Petroquímica Reynosa

La industria petroquímica abarca diversas actividades que utilizan como materias primas al gas natural y algunos derivados del petróleo. La transformación de estos insumos tiene como resultado la elaboración de fertilizantes, plásticos y materiales sintéticos que se utilizan en varias ramas industriales.

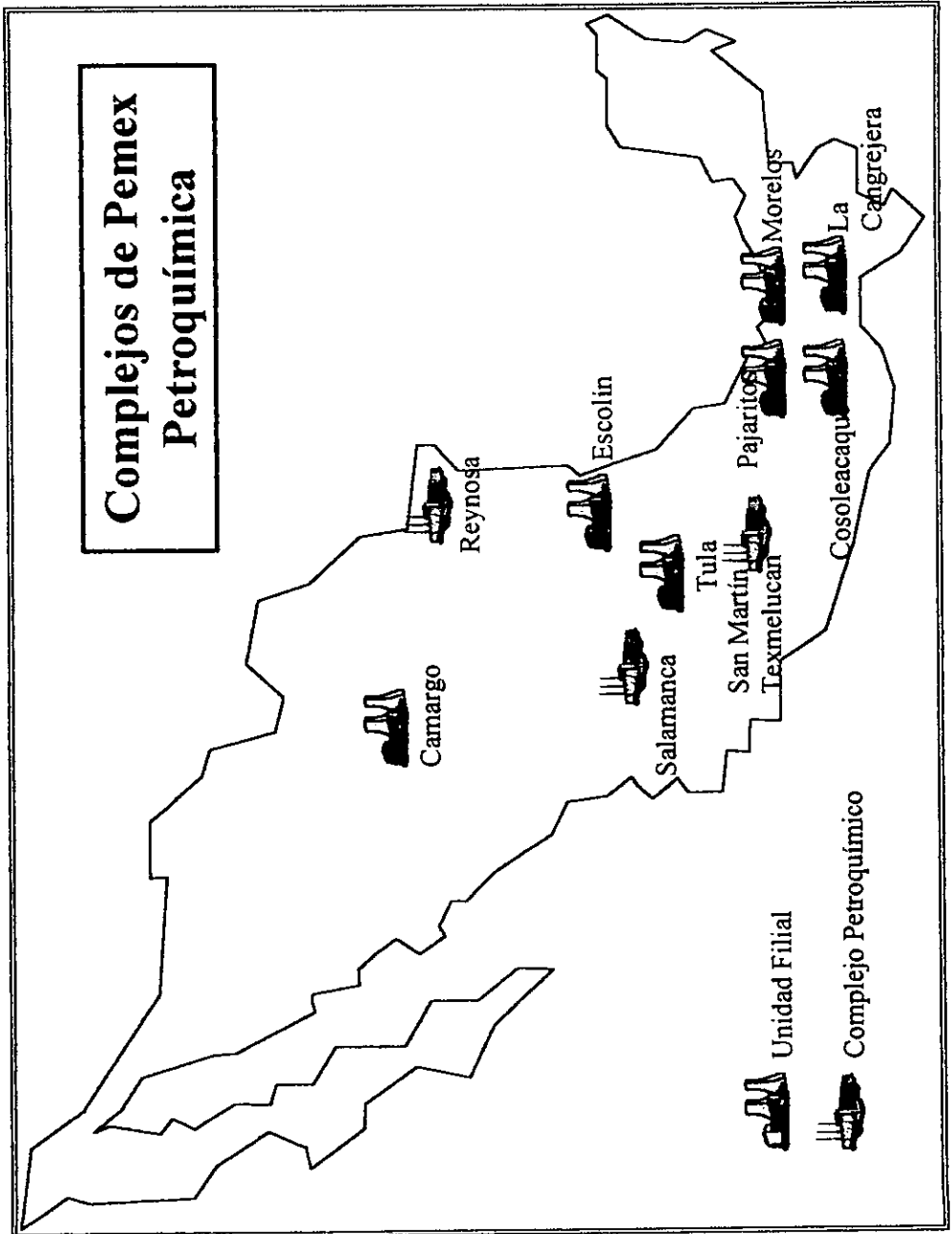


Figura I-1. Complejos de Pemex Petroquímica

• INDUSTRIA PETROQUÍMICA MUNDIAL

En el ámbito mundial, la industria petroquímica ha evolucionado en los últimos cuarenta años gracias al desarrollo simultáneo de las tecnologías de procesos y de las síntesis químicas para fabricar sustitutos de productos naturales a bajo costo. La calidad y el costo de los materiales sintéticos han mejorado conforme se ha perfeccionado la tecnología de procesos para obtener buenos rendimientos y se ha incrementado la escala de las operaciones.

Cabe señalar que a pesar de que los orígenes técnicos de la industria se ubican en Europa y principalmente en Alemania, el desarrollo petroquímico es un fenómeno particularmente norteamericano. Ello obedece al hecho de que las primeras materias primas, carbón de hulla y lignito, fueron rápidamente sustituidas por insumos de menor costo como el gas natural y productos petrolíferos, con amplia disponibilidad en Estados Unidos.

Las características más relevantes de la industria petroquímica están asociadas a su intensidad en el uso del capital, su rentabilidad, sus encadenamientos con otras actividades y su elevada elasticidad-ingreso de la demanda.

Históricamente, las grandes compañías que han desempeñado un papel preponderante en la industria petroquímica lo han logrado a través de una integración vertical partiendo de la refinación hacia la elaboración de olefinas, aromáticos, polímeros y productos químicos intermedios, aunque algunas han seguido estrategias de integración más agresivas hacia la fabricación de especialidades químicas. La mayoría de las empresas integradas al petróleo se concentran en petroquímicos ampliamente comercializados y no diferenciados y emplean procesos de producción con características similares a los de la industria de refinación.

En los primeros años de la petroquímica, se establecieron las bases para su desarrollo. La invención más importante fue la desintegración térmica del petróleo crudo a través de la cual se generan gases que contienen olefinas. Esta tecnología permitió que el petróleo y el gas natural sustituyeran al carbón como insumo de algunos productos químicos importantes como: fenol, ácido acético, cloruro de vinilo y acetona. Así mismo, se empezaron a comercializar

nuevos productos "sólidos" como el poliestireno, el policloruro de vinilo, el polietileno y el nylon. Varias empresas comenzaron un proceso de consolidación y lograron concentrar recursos tecnológicos y de capital para continuar con el desarrollo de la industria.

La Segunda Guerra Mundial provocó escasez de materias primas naturales y con ello se impulsó la producción en gran escala de polietileno, hule y fibras sintéticas. A pesar de la consolidación de empresas para construir unidades de mayor escala, la estructura de la industria a nivel mundial continuó fragmentada, generando altos beneficios económicos las compañías que reinvertían en el desarrollo de nueva tecnología.

La segunda fase de 1945 hasta principios de los setentas se caracterizó por un rápido crecimiento de la demanda, el suministro de insumos baratos y las continuas innovaciones tecnológicas. El crecimiento de la industria petroquímica se benefició con la expansión de la industria automotriz y la producción de bienes de consumo duradero. Asimismo, destacó el cambio en el origen de los insumos que, de provenir de derivados del carbón y de subproductos de la refinación, pasaron a tener su origen en el etano y en ciertas corrientes de refinación. Los principales avances técnicos ocurrieron en dos áreas:

- a) El desarrollo de polímeros (síntesis química)
- b) El avance en la tecnología de procesos

Durante este periodo, la capacidad de producción de etileno en el mundo creció de menos de 500 mil toneladas métricas en 1948 a 20 millones de toneladas métricas en 1970, un crecimiento promedio de 18 por ciento por año. Los avances en ingeniería permitieron la construcción de plantas con economías de escala mayores. Por ejemplo, en el etileno se pasó de una planta de 30,000 toneladas anuales a una de 400,000 toneladas anuales. Con la reducción de los costos, los beneficios económicos de los productores excedieron los rendimientos promedio de otras actividades industriales.

Los altos rendimientos del orden del 20 por ciento que obtuvieron los participantes iniciales atrajeron el interés de empresas industriales de diversa índole. Compañías siderúrgicas y llanteras en Estados Unidos, y conglomerados industriales estatales en Europa Occidental comenzaron a participar en la fabricación de productos petroquímicos. Como resultado, el

atractivo económico de la industria declinó, cayendo los rendimientos al nivel del 5%.

A partir del aumento significativo de los precios del petróleo en 1973, la industria entró en una etapa de profunda reestructuración. El entorno económico de esos años se caracterizó por la recesión de los países desarrollados, explicada por los fuertes aumentos en los precios de los insumos y la disminución generalizada de la demanda. Sin embargo, los proyectos de expansión no se detuvieron basados probablemente en los ritmos de crecimiento histórico. Debido a las expectativas que preveían escasez de insumos ligeros – etano y propano -, se construyeron nuevas plantas de etileno capaces de fraccionar insumos procesados como la nafta y el gasóleo. Estas nuevas plantas se terminaron de construir a finales de los años setenta cuando aumentó por segunda vez el precio del petróleo en forma significativa. La competencia se incrementó al máximo y los precios de los productos genéricos se fijaron con base en los costos variables o incrementales. Muchas compañías sufrieron grandes pérdidas y las empresas dejaron de preocuparse por definir las sendas de crecimiento para concentrarse en determinar la manera de sobrevivir.

La industria respondió de diversas formas. En términos generales, la petroquímica europea realizó un proceso ordenado de racionalización de activos, lo que redujo el número de competidores en etileno, policloruro de vinilo, polietileno y poliestireno. Algunas compañías, como Dow y BASF, incrementaron su participación en especialidades petroquímicas de mayor valor, recortaron costos de manera agresiva, racionalizaron sus carteras de activos y finalmente, reforzaron sus posiciones de mercado en petroquímicos genéricos. Union Carbide, una de las empresas responsables de muchos de los avances en tecnología de procesos, reaccionó tardíamente y estuvo a punto de ser absorbida por un competidor.

El comportamiento cíclico de la industria se acentuó en la segunda mitad de la década de los ochenta. Al posponerse las adiciones de capacidad a principios de ese decenio, se generó una escasez mundial de muchos petroquímicos genéricos a finales de la década. Consecuentemente, los precios de los productos llegaron a niveles nunca antes alcanzados y la industria se benefició, durante un periodo breve, de una rentabilidad jamás lograda.

La industria petroquímica actual es un negocio altamente competitivo de productos genéricos en el que la rentabilidad depende del manejo adecuado

de plantas eficientes. Su naturaleza no diferenciada aunada a su estructura oligopólica han creado una industria en la que sólo las empresas de mejor desempeño obtienen rendimientos que exceden el costo del capital.

Algunas tendencias que pueden influir sobre la evolución de la industria empiezan a manifestarse. Se prevé que la competencia y la política de fijación de precios de petroquímicos genéricos sean cada vez más agresivas. Los ciclos de la industria y las bajas tasas de crecimiento continuarán siendo la norma. Los flujos comerciales se modificarán con la entrada en operación de nuevas plantas en el lejano Oriente. Aún los proyectos en Canadá y el Medio Oriente basados en ventajas estructurales por tener asegurado el suministro a bajo precio de los insumos, enfrentarán riesgos.

• INDUSTRIA PETROQUÍMICA EN MÉXICO.

El origen de la industria petroquímica en México data de 1959 con la entrada en operación de una planta de Pemex para producir dodecil-benceno. En esa época el país atravesaba por una fase de rápido crecimiento, derivado de la aplicación de políticas orientadas a la industrialización. Consecuentemente, la demanda de productos petroquímicos crecía a tasas elevadas.

En 1958 se promulgó una legislación en materia energética que impactó profundamente el desarrollo futuro de la industria. Posteriormente entró en vigor la clasificación de los productos petroquímicos en básicos y secundarios, que reservó para Pemex el derecho de ser el único productor de básicos y limitó la elaboración de productos secundarios a empresas con un mínimo de capital social con el 60 por ciento propiedad de mexicanos.

En ese contexto legal y bajo la protección de un sistema de permisos de importación, aranceles, precios regulados y subsidios a materias primas, en 1966 se construyó la primera fraccionadora de etano en Reynosa, Tamaulipas. Entre ese año y 1968 se inició la producción de etileno, dicloroetano, cloruro de vinilo, polietileno de baja densidad, acetaldehído y aromáticos. Asimismo, el gobierno federal, a través de Pemex, emprendió una política de desarrollo regional que resultó en la construcción de complejos como Camargo en Chihuahua en 1967.

En 1980, con el objeto de apoyar el desarrollo industrial del país y las actividades agrícolas, se estableció una política de precios que los fijaba alrededor del 80 por ciento de los precios prevalecientes en el mercado de la Costa Norteamericana del Golfo de México (CNGM). Asimismo, se fomentaron proyectos petroquímicos orientados a la exportación a través de incentivos como descuentos en precios de energía y de insumos.

El colapso en el precio del petróleo a principios de los años ochenta originó una crisis financiera que retrasó los proyectos planeados y en

ejecución y dejó a Pemex sin recursos para realizar inversiones. Esta situación afectó de manera determinante la posición competitiva de la industria petroquímica en México. Una década más tarde, cuando se concluyeron los proyectos, la tecnología, que había sido seleccionada en los años setenta, no era la adecuada para competir de manera eficiente. El impacto fue enorme en términos de los sobrecostos incurridos y de los problemas de curvas de aprendizaje y eficiencia con tecnologías en desuso.

La posposición del programa de expansión previsto a finales de los años setenta afectó también, de manera negativa, el desarrollo de la industria petroquímica privada que contaba con los insumos e incentivos de Pemex para hacer variables muchos de sus proyectos. Debido a que Pemex controlaba la importación de petroquímicos básicos, era difícil expandirse sin contar con un suministro asegurado de insumos. La disminución de los ingresos provenientes de la exportación de petróleo, detuvo el crecimiento de la economía en general, obligó a liberar la importación de petroquímicos básicos y a que el sector petroquímico privado participara en los mercados internacionales para mantener sus plantas a niveles altos de utilización. Pemex mantuvo sus incentivos al sector privado vía precios de los insumos para apoyar la actividad petroquímica.

Con la entrada al GATT se inició la apertura de la economía y paralelamente se optó por reducir el ámbito del monopolio estatal en productos petroquímicos. De un total de 60 productos básicos a principios de la década, sólo se conservaron 20 a partir de 1986. En agosto de 1992, la lista de básicos se redujo a 8 productos.

Con la entrada de México al Tratado de Libre Comercio en el año de 1994, se concretiza la política de apertura comercial, obligando al Gobierno a intervenir con menor frecuencia en el mercado, limitando su área a las actividades estratégicas definidas por la Constitución.

LEY REGLAMENTARIA DEL ARTICULO 27 CONSTITUCIONAL EN EL RAMO DEL PETROLEO.

Artículo 1º.- Corresponde a la nación el dominio directo, inalienable e imprescriptible de todos los carburos de hidrógeno que se encuentren en el territorio nacional - incluida la plataforma continental - en mantos o yacimientos, cualquiera que sea su estado físico, incluyendo los estados intermedios, y que componen el aceite mineral crudo, lo acompañan o se derivan de él.

Artículo 2º.- Sólo la nación podrá llevar a cabo las distintas explotaciones de los hidrocarburos, que constituyen la industria petrolera, en los términos del artículo siguiente.

En esta ley se comprende con la palabra "petróleo" a todos los hidrocarburos naturales a que se refiere el Artículo 1º.

Artículo 3º.- La industria petrolera abarca:

- I. La exploración, la explotación, la refinación, el transporte, el almacenamiento, la distribución y las ventas de primera mano del petróleo y los productos que se obtengan de su refinación;
- II. La exploración, la explotación, la elaboración y las ventas de primera mano del gas, así como el transporte y el almacenamiento indispensables y necesarios para interconectar su explotación y elaboración, y
- III. La elaboración, el transporte, el almacenamiento, la distribución y las ventas de primera mano de aquellos derivados del petróleo que sean

susceptibles de servir como materias primas industriales básicas y los del gas que constituyan petroquímicos básicos.

Artículo 4º.- La nación llevará a cabo la exploración y la explotación del petróleo y las demás actividades a que se refiere el Artículo 3º, que se consideran estratégicas en los términos del Artículo 28º, párrafo 4, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por conducto de Petróleos Mexicanos y sus organismos subsidiarios.

Salvo lo dispuesto en el Artículo 3º, el transporte, el almacenamiento y la distribución de gas podrán ser llevados a cabo, previo permiso, por los sectores social y privado, los que podrán construir, operar y ser propietarios de ductos, instalaciones y equipos, en los términos de las disposiciones reglamentarias, técnicas y de regulación que se expidan.

Artículo 5º.- La Secretaría de Energía asignará a Petróleos Mexicanos los terrenos que esta institución le solicite o que el Ejecutivo Federal considere conveniente asignarle para fines de exploración y explotación petroleras.

El reglamento de esta ley establecerá los casos en que la Secretaría de Energía podrá rehusar o cancelar las asignaciones.

Artículo 6º.- Petróleos Mexicanos podrá celebrar con personas físicas o morales los contratos de obras de prestación de servicios que la mejor realización de sus actividades requiere. Las remuneraciones que en dichos contratos de establezcan, serán siempre en efectivo y en ningún caso concederán por los servicios que se presten o las obras que se ejecuten, porcentajes en los productos, ni participaciones en los resultados de las explotaciones.

Artículo 7º.- El reconocimiento y la exploración superficial de los terrenos para investigar sus posibilidades petrolíferas, requerirán únicamente permisos de la Secretaría de Energía. Si hubiere oposición del propietario o poseedor cuando los terrenos sean particulares, o de los representantes legales de los ejidos o comunidades, cuando los terrenos estén afectados al régimen ejidal o comunal, la Secretaría de Energía, oyendo a las partes, concederá el permiso

mediante el reconocimiento que haga Petróleos Mexicanos de la obligación de indemnizar a los afectados por los daños y perjuicios que pudieren causarles de acuerdo con el peritaje que la Comisión de Avalúos de Bienes Nacionales practique dentro de un plazo que no excederá de seis meses, pudiendo entregar Petróleos Mexicanos un anticipo, en consulta con la propia Comisión. El resto del pago será finiquitado una vez concluido el peritaje.

Artículo 8º.- El ejecutivo federal establecerá zonas de reservas petroleras en terrenos que por sus posibilidades petrolíferas así lo ameriten, con la finalidad de garantizar el abastecimiento futuro del país. La incorporación de terrenos a las reservas y su desincorporación de las mismas, serán hechas por Decreto Presidencial, fundado en los dictámenes técnicos respectivos.

Artículo 9º.- La industria petrolera y las actividades a que se refiere el Artículo 4º, segundo párrafo, son de la exclusiva jurisdicción federal.

En consecuencia, únicamente el Gobierno federal puede dictar las disposiciones técnicas, reglamentarias y de regulación que las rijan.

Artículo 10.- La industria petrolera es de utilidad pública, preferente sobre cualquier aprovechamiento de la superficie y del subsuelo de los terrenos, incluso sobre la tenencia de los ejidos o comunidades y procederá la ocupación provisional, la definitiva o la expropiación de los mismos, mediante la indemnización legal, en todos los casos en que lo requieran la Nación o su industria petrolera.

Son de utilidad pública las actividades de construcción de ductos. Petróleos Mexicanos, sus organismos subsidiarios y las empresas de los sectores social y privado estarán obligados a prestar a terceros el servicio de transporte y distribución de gas por medio de ductos, en los términos y condiciones que establezcan las disposiciones reglamentarias.

Artículo 11.- El Ejecutivo federal dictará las disposiciones relacionadas con la vigilancia de los trabajos petroleros y las normas técnicas a que deberá estar sujeta la explotación.

Artículo 12.- En lo no previsto por esta ley, se consideran mercantiles los actos de la industria petrolera y las actividades a las que se refiere el Artículo 4º, segundo párrafo, que se regirán por el Código de Comercio y, de modo supletorio, por las disposiciones del Código Civil para el Distrito Federal en materia común, y para toda la República en materia federal.

Artículo 13.- Los interesados en obtener los permisos a que se refiere el párrafo segundo del Artículo 4º de esta ley, deberán presentar solicitud a la Secretaría de Energía que contendrá: el nombre y domicilio del solicitante, los servicios que desea prestar, las especificaciones técnicas del proyecto, los programas y compromisos de inversión y, en su caso, la documentación que acredite su capacidad financiera.

La cesión de los permisos podrá realizarse, previa autorización de la Secretaría de Energía y siempre que el cesionario reúna los requisitos para ser titular y se comprometa a cumplir en sus términos las obligaciones previstas en dichos permisos. En ningún caso se podrá ceder, gravar o enajenar el permiso, los derechos en él concedidos o los bienes afectos a los mismos, al gobierno o estado extranjero.

Los permisos podrán revocarse por cualquiera de las causas siguientes:

- I. No ejercer los derechos conferidos durante el plazo establecido en el permiso;
- II. Interrumpir sin causa justificada y autorización de la Secretaría de Energía los servicios objeto del permiso;
- III. Realizar prácticas discriminatorias en perjuicio de los usuarios, y violar los precios y tarifas que, en su caso, llegare a fijar la autoridad competente;
- IV. Ceder, gravar o transferir los permisos en contravención a lo dispuesto en esta ley, y

- V. No cumplir con las normas oficiales mexicanas, así como con las condiciones establecidas en el permiso.

Los permisionarios están obligados a permitir el acceso a sus instalaciones a los verificadores de la Secretaría de Energía, así como a proporcionar a ésta toda la información que le sea requerida para comprobar el cumplimiento de las obligaciones a su cargo.

Artículo 14.- La regulación de las actividades a que se refiere el Artículo 4º, segundo párrafo, y de las ventas de primera mano de gas tendrá por objeto asegurar su suministro eficiente y comprenderá:

- I. Los términos y condiciones para:
- a) El otorgamiento, la transferencia y la revocación por incumplimiento de los permisos;
 - b) Las ventas de primera mano;
 - c) La prestación de servicios de transporte, almacenamiento y distribución;
 - d) El acceso no discriminatorio y en condiciones competitivas a los servicios de transporte, almacenamiento y distribución por medio de ductos, y
 - e) La presentación de información suficiente y adecuada para fines de regulación.
- II. La determinación de los precios y tarifas aplicables, cuando no existan condiciones de competencia efectiva, a juicio de la Comisión Federal de Competencia. Los sectores social y privado podrán solicitar a la mencionada Comisión que se declare la existencia de condiciones competitivas;

- III. El procedimiento de consulta pública para la definición de criterios de regulación, en su caso;
- IV. La inspección y vigilancia del cumplimiento de las condiciones establecidas en los permisos y de las normas oficiales mexicanas aplicables;
- V. Los procedimientos de conciliación y arbitraje para resolver las controversias sobre la interpretación y el cumplimiento de contratos, y el procedimiento para impugnar la negativa a celebrarlos, y
- VI. Los demás instrumentos de regulación que establezcan las disposiciones aplicables.

Artículo 15.- Las infracciones a esta ley y a sus disposiciones reglamentarias podrán ser sancionadas con multas de 1,000 a 100,000 veces el importe del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, en la fecha en que se incurra en la falta, a juicio de la autoridad competente, tomando en cuenta la importancia de la falta.

Artículo 16.- La aplicación de esta ley corresponde a la Secretaría de Energía, con la participación que esté a cargo de la Comisión Reguladora de Energía, en términos de las disposiciones reglamentarias.

ARTICULOS TRANSITORIOS DEL DECRETO DE REFORMAS

Primero.- El presente Decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Segundo.- De todas las disposiciones que se opongan a lo establecido en este decreto.

Tercero.- Petróleos Mexicanos conservará en propiedad y mantendrá en condiciones de operación a los ductos y sus equipos e instalaciones accesorios para el transporte de gas a que se refiere el Artículo 4º, segundo párrafo, que actualmente forman parte de su patrimonio, sujetando su operación a esta ley y a las disposiciones reglamentarias, técnicas y de regulación que se expidan.

Igualmente continuará realizando las actividades de transporte de gas con otros equipos que formen parte de su patrimonio, sujetándolas a las disposiciones aplicables.

Cuarto.- Las disposiciones reglamentarias serán expedidas dentro de los 180 días siguientes a la fecha de entrada en vigor de este Decreto. Las regulaciones deberán establecerse para cada tipo de gas o combinación de ellos.¹

¹ Comisión Reguladora de Energía. 3/Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional.

1. Antecedentes de la petroquímica en México.

1.1 Primeros años (1959-1983)

Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo (1958)

- ♦ El 29 de noviembre de 1958 se publicó la **Ley reglamentaria del Artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo**, la cual estableció los alcances de la industria petrolera (incluida la petroquímica), declarando exclusivo para la Nación el dominio directo, inalienable e imprescriptible, de todos los hidrocarburos que se encuentran en territorio nacional, y concedió a la entonces Secretaría de Patrimonio Nacional, y a Petróleos Mexicanos (PEMEX) funciones específicas para su cumplimiento.
- ♦ En 1959 se formó, bajo los lineamientos contenidos en la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, la **Comisión para el Estudio de la Industria Petroquímica**, integrada por las representaciones de tres dependencias: la Dirección General de Minas y Petróleo por parte de la Secretaría de Patrimonio Nacional; la Dirección General de Industrias por la Secretaría de Industria y Comercio; y la Gerencia de Refinación por PEMEX.

Primeros acuerdos presidenciales en materia de petroquímica

- ♦ El 13 de enero de 1960 se emitió un acuerdo presidencial que determinó que corresponde a PEMEX o a organizaciones y empresas subsidiarias o asociadas, la elaboración de los productos de la petroquímica básica.

Durante 1960 se expidieron 9 **acuerdos presidenciales** para ejercer igual número de permisos petroquímicos a un total de 8 empresas: 4 de ellos del ramo de los fertilizantes, 3 de la construcción y operación de plantas para elaborar negro de humo y 1 de elaboración de productos intermedios. En el periodo de 1960-1964 se concedieron un total de 29 permisos petroquímicos, vía acuerdos rubricados por el Ejecutivo Federal y los secretarios respectivos, publicados en el Diario Oficial de la Federación.

Reglamento de la Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo en materia petroquímica (1971)

- ♦ El 9 de febrero de 1971 se expidió el Reglamento de la Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo en materia petroquímica, que delimitó los campos de acción que se reservan en forma exclusiva a la Nación y aquellos en que pueden intervenir los particulares. Dicho reglamento establece que corresponde de manera exclusiva al Estado, a través de PEMEX, “la elaboración de los productos que sean susceptibles de servir como materias primas industriales básicas, que sean resultado de los procesos petroquímicos fundados en la primera transformación química importante o en el primer proceso físico importante que se efectúe a partir de productos o subproductos de refinación o de hidrocarburos naturales del petróleo”; mientras que permite la participación de los particulares, por sí o asociados con PEMEX, en la elaboración de productos petroquímicos, que sean resultado de procesos subsecuentes a los antes señalados.

- ♦ De esta manera, se distinguieron tres regímenes de la industria petroquímica: la básica, exclusiva del Estado; la secundaria, en la que podrían concurrir los sectores social y privado; y la subsecuente, definida por exclusión de los anteriores, y que comprende el conjunto de actividades no sujetas a permiso previo para su realización.

- ♦ A partir de 1960 y posteriormente, conforme a este ordenamiento se expidieron diversas resoluciones administrativas que definieron, mediante listados clasificatorios, los productos que debían considerarse en cada una

de las categorías reglamentarias. Los listados fueron modificados con frecuencia, atendiendo enfoques y circunstancias coyunturales. Esta reglamentación, y las clasificaciones referidas, no ofrecieron a los sectores social y privado la certidumbre jurídica necesaria para estimular la inversión.

Listados clasificatorios

- ♦ El primer listado clasificatorio se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 9 de abril de 1960, y le otorgó el carácter de petroquímicos básicos a 16 productos. Posteriormente el 8 de octubre de 1986, mediante resolución de la SEMIP, la lista de petroquímicos básicos aumentó a 34, y se establecieron 36 productos petroquímicos secundarios, los cuales requerían de permiso expreso para su elaboración. El 15 de agosto de 1989, nuevamente se expidió una resolución clasificatoria, que redujo a 20 los productos petroquímicos básicos, y aumentó la lista de petroquímicos secundarios a 66. El 7 de junio de 1991 se reclasificó el etermetil-terbutílico como petroquímico básico. Por último, el 17 de agosto de 1992 se redujeron las listas, de productos petroquímicos básicos a 8, y de petroquímicos secundarios a 13.

Desarrollo industrial e inversión pública

- ♦ Hasta 1975, se establecieron en el país plantas petroquímicas con niveles de producción suficientes para atender la demanda nacional. Esta evolución se produjo al amparo de barreras proteccionistas y de subsidios que permitieron un desarrollo industrial basado en un esquema de sustitución de importaciones. Los subsidios dieron lugar a precios artificialmente bajos para los petroquímicos producidos por PEMEX, al tiempo que el cierre del mercado internacional permitió que los bienes producidos por el sector privado fueran, en ocasiones, hasta un 15 ó 20 % más caros que los de origen extranjero.

- ♦ En los siguientes diez años (1976-1985) se realizaron inversiones públicas, alentadas por el auge de los ingresos obtenidos de la exportación del petróleo, por diversos estímulos fiscales y por precios de descuento en los insumos básicos, que permitieron producir excedentes para el mercado internacional.

1.2 Las reformas constitucionales en materia económica

Reforma al capital económico de la Constitución (1983)

- ♦ En 1983, durante el gobierno de Miguel de la Madrid Hurtado, se llevó a cabo la reforma del llamado capítulo económico de la Constitución, mediante reformas y adiciones a los artículos constitucionales 25, 26 y 28, referentes al papel del Estado en el desarrollo económico nacional.
- ♦ La reforma al artículo 25 constitucional estableció el concepto de la "Rectoría económica del Estado", según el cual el Estado tiene la facultad de planear, conducir, coordinar y orientar la actividad económica nacional, así como de regular y fomentar las actividades que demanda el interés general en el marco de las libertades constitucionales.
- ♦ Para ello, estableció dicho precepto, "Al desarrollo económico nacional concurrirán, con responsabilidad social, el sector público, el sector social y el sector privado ..."
- ♦ Asimismo, dicha reforma elevó a rango constitucional el principio de la economía mixta, en virtud del cual el párrafo cuarto del artículo 25 constitucional dispone que corresponde al sector público "de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el artículo 28, párrafo cuarto, de la Constitución, manteniendo siempre el gobierno federal la propiedad y el control sobre los organismos que en su caso se establezcan."

- ◆ Respecto al sector privado el artículo 25 constitucional establece que “La ley alentará y protegerá la actividad económica que realicen los particulares y proveerá las condiciones para que el desenvolvimiento del sector privado contribuya al desarrollo económico nacional, en los términos que establece esta Constitución.”
- ◆ En consecuencia, el artículo 28 constitucional también fue objeto de reformas y adiciones. En particular, la reforma definió las áreas de la economía calificadas como estratégicas, cuya atención se encomienda en forma exclusiva al Estado. Las nuevas áreas estratégicas incorporadas al párrafo cuarto del artículo 28 constitucional fueron: comunicación vía satélite; petróleo y los demás hidrocarburos; petroquímica básica; minerales radioactivos y generación de energía nuclear; electricidad; ferrocarriles; y las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión.
- ◆ En relación con los sectores público y privado, el artículo 25 constitucional establece que el sector público “podrá participar por sí o con los sectores social y privado, de acuerdo con la ley, para impulsar y organizar las áreas prioritarias del desarrollo.” Además, dispone que “bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente.”
- ◆ El párrafo cuarto del artículo 28 constitucional fue modificado nuevamente el 2 de marzo de 1995, para hacer susceptibles de concesión a particulares los ferrocarriles y la comunicación vía satélite.
- ◆ Se identificó, constitucionalmente, a la petroquímica básica como área estratégica, bajo la responsabilidad exclusiva del Estado. Así, en México la petroquímica básica se distingue del resto de la industria petroquímica, debido a que la Constitución la determina como actividad exclusiva del Estado.

2. El primer proyecto de desincorporación (1992-1994)

2.1 El proyecto de 1992

Ley Orgánica de PEMEX

- ♦ El 16 de julio de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, mediante la cual se le otorgó autonomía a la gestión de las divisiones de PEMEX, transformándose éstas en organismos descentralizados responsabilizados de funciones específicas. De esta manera, se creó el organismo descentralizado Pemex Petroquímica (Pemex-Petroquímica), al cual se le encomendó “realizar los procesos industriales petroquímicos cuyos productos no forman parte de la industria petroquímica básica, así como su almacenamiento, distribución y comercialización.”
- ♦ Cabe destacar que la exposición de motivos de la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios explica que “la creación de Pemex-Petroquímica obedece a la necesidad de permitir al organismo competir en los mercados nacionales e internacionales en mejores condiciones. Para ello, se fracturaría al organismo para invertir, ampliar capacidades, desinvertir, coinvertir o formar alianzas estratégicas o cadenas productivas, a fin de convertirlo en un ente eficiente, rentable y moderno. Podría por lo tanto, establecer filiales o subsidiarias con la forma jurídica que más convenga.”

Reclasificación de los petroquímicos

- ♦ El 17 de agosto de 1992 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la resolución de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), que reclasificó los productos dentro de la petroquímica básica o secundaria. La resolución establece que los productos petroquímicos

básicos sólo podrán ser elaborados por la Nación, por conducto de PEMEX o de organismos o empresas subsidiarias de dicha institución, en los que no podrán tener participación los particulares. Los productos petroquímicos básicos son:

- 1.- Etano
- 2.- Propano
- 3.- Butanos
- 4.- Pentanos
- 5.- Hexano
- 6.- Heptano
- 7.- Materias primas para negro de humo
- 8.- Naftas

Primer paquete de desincorporación

- ♦ En octubre de 1992 el Comité de Racionalización de Activos, grupo de trabajo delegado del Consejo de Administración de Pemex-Petroquímica, acordó aprobar el paquete de desincorporación de 19 de sus 61 plantas.
- ♦ En junio de 1993, y debido a condiciones desfavorables en el mercado internacional que presentaba una tendencia a la baja en los precios, se consideró prudente diferir el proceso de desincorporación de Pemex-Petroquímica.

2.2 La petroquímica en el Tratado de Libre Comercio

- ♦ El 1° de enero de 1994 entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN)². En su capítulo sexto, referente a "Energía y Petroquímica Básica", el TLCAN señala que las partes consideran deseable fortalecer el papel del comercio de los bienes energéticos y petroquímicos básicos, y acrecentarlo a través de su liberalización gradual y sostenida. Además, reconocen la importancia de contar con sectores energéticos y

² Tratado de Libre Comercio de América del Norte, capítulo VI.

petroquímicos viables y competitivos internacionalmente. El capítulo sexto regula tanto los bienes energéticos y petroquímicos básicos, clasificados conforme al Sistema Armonizado, como la inversión y el comercio transfronterizo de los servicios vinculados.

- ♦ Además, dicho capítulo establece en su artículo 602.3 las reservas y disposiciones especiales en materia de energéticos. Según éstas, el Estado Mexicano se reserva para sí mismo, incluyendo la inversión como presentación de servicios, las siguientes actividades estratégicas, en las cuales no se permitirá la inversión privada:

a) Exploración, explotación, refinación y procesamiento de petróleo crudo y gas natural³; producción de gas artificial, petroquímicos básicos y sus insumos; y ductos;

b) Comercio exterior; transporte, almacenamiento y distribución, incluyendo la venta de primera mano, de los siguientes bienes:

1.-Petróleo crudo

2.-Gas natural y artificial

3.-Bienes cubiertos por este capítulo obtenidos de la refinación o del procesamiento de petróleo crudo o gas natural, y

4.- Petroquímicos básicos.

Reserva aplicable a la petroquímica secundaria

- ♦ En particular, se aplica a la petroquímica secundaria la reserva contenida en el Anexo III del TLCAN, en el punto C, de donde se establece que "México podrá restringir a favor de empresas con participación mayoritariamente de personas físicas de nacionalidad mexicana, tal y como

³ De acuerdo a la reforma a la Ley Reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 11 de mayo de 1995, sólo se reserva al Estado la explotación y venta directa del gas natural, y se permite a los particulares su almacenamiento, transporte y distribución después de la venta de primera mano realizada por el Estado, a través de un organismo descentralizado.

se define en la Constitución Mexicana, la primera venta de activos o participación propia del Estado en aquellas actividades que estén reservadas al Estado Mexicano al primero de enero de 1992, que dejen de estarlo a la fecha de entrada en vigor del presente Tratado.” En virtud de que el acuerdo de reclasificación de los petroquímicos básicos publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de agosto de 1989, se encuentra en el caso previsto en la reserva, los siguientes productos son aquellos sujetos a la aplicación de la misma:

- 1.- Acetileno
- 2.- Amoniaco
- 3.- Benceno
- 4.- Butadieno
- 5.- Butilenos
- 6.- Etileno
- 7.- Metanol
- 8.- n-Parafinas
- 9.- Ortoxileno
- 10.- Paraxileno
- 11.- Propileno
- 12.- Tolueno
- 13.- Xilenos

2.3 La nueva administración retoma el proyecto de desincorporar la petroquímica secundaria

LVII aniversario de la expropiación petrolera

- ♦ El 18 de marzo de 1995 el Director General de PEMEX, Adrián Lajous Vargas, durante la conmemoración del LVII aniversario de la expropiación de la industria petrolera, anunció la reestructuración del sector y la transformación de PEMEX en una empresa integrada, moderna, competitiva y administrada en forma eficiente. Afirmó que es indispensable redefinir el alcance y las fronteras económicas de la institución para concentrar a la empresa en “actividades estratégicas básicas que le encomienda el marco jurídico vigente”. Anunció la decisión del gobierno federal de continuar con el proceso de desincorporación de activos de PEMEX orientados a la elaboración de productos petroquímicos secundarios y terciarios. Comentó

que la desincorporación de estos activos no estratégicos, que se encuentran fuera del ámbito reservado constitucionalmente al Estado, "permitirá a PEMEX concentrar sus recursos financieros y gerenciales en las actividades prioritarias y estratégicas que constituyen el ámbito del monopolio estatal."

2.4 Los lineamientos de la Comisión Intersecretarial y los acuerdos de desincorporación

Lineamientos de la Comisión Intersecretarial

- ♦ El 28 de septiembre de 1995 el Consejo de Administración de Pemex-Petroquímica acordó que, por conducto de la Secretaría de Energía (SE), se solicitase a la Comisión Intersecretarial de Desincorporación, la expedición de lineamientos integrales para desincorporar los activos petroquímicos del organismo, con base en las resoluciones, criterios y acuerdos tomados por dicha Comisión desde su establecimiento.
- ♦ El 16 de octubre de 1995 la Comisión Intersecretarial de Desincorporación aprobó y expidió los Lineamientos para desincorporación de activos de Pemex-Petroquímica susceptibles de ser utilizados como unidades económicas con fines productivos.
- ♦ El 19 de octubre de 1995 el consejo de administración de Pemex-Petroquímica, en sesión extraordinaria, aprobó la desincorporación de los activos del organismo, de conformidad con dichos lineamientos.

Acuerdos de la desincorporación

- ♦ El 30 de octubre de 1995 el Consejo de Administración de PEMEX, con base en los lineamientos señalados y en cumplimiento de los acuerdos adoptados por el órgano de gobierno de Pemex-Petroquímica, autorizó a PEMEX y al organismo subsidiario a realizar, dentro del ámbito de sus respectivas competencias, los trámites administrativos y legales para la desincorporación y enajenación de activos de Pemex-Petroquímica.

Convocatoria PPQ-001

- ♦ El 14 de noviembre de 1995 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la convocatoria número PPQ-001, para la licitación pública internacional, que tenía por objeto enajenar diversos activos propiedad de Pemex-Petroquímica, consistentes en cinco plantas de amoniaco, una planta de hidrógeno, una planta de paraxileno y su unidad de isomerización y otros activos relacionados, localizados en el complejo petroquímico Cosoleacaque, estado de Veracruz.
- ♦ El 28 de noviembre de 1995 Cuauhtémoc Cárdenas concluyó que si se reconoce su importancia económica, en realidad la lista de petroquímicos básicos quedaría reducida sólo a un producto, el etano.

3. Texto vigente de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo.

- El 13 de noviembre se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se reforma la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, así como el Decreto por el que se abroga el Reglamento de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, en materia de petroquímica.
- El texto de los artículos reformados de la ley (3o., 4o. y 15o.) quedó como sigue⁴:

“Artículo 3º.- La industria petrolera abarca:

- I. La exploración, la explotación, la refinación, el transporte, el almacenamiento, la distribución y las ventas de primera mano del petróleo y los productos que se obtengan de su refinación;
- II. La exploración, la explotación, la elaboración y las ventas de primera mano del gas, así como el transporte y el almacenamiento indispensables y necesarios para interconectar su explotación y elaboración, y
- III. La elaboración, el transporte, el almacenamiento, la distribución y las ventas de primera mano de aquellos derivados del petróleo *y del gas que sean susceptibles de servir como materias primas industriales básicas y que constituyen petroquímicos básicos, que a continuación se enumeran⁵:*

⁴Diario Oficial de la Federación, 29 de Octubre de 1996

⁵ Los textos en letra cursiva son las reformas a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo.

- 1.- Etano;
- 2.- Propano;
- 3.- Butanos;
- 4.- Pentanos;
- 5.- Hexanos;
- 6.- Heptanos;
- 7.- Materia prima para negro de humo;
- 8.- Naftas; y
- 9.- Metano, cuando provenga de carburos de hidrógeno, obtenidos de yacimientos ubicados en el territorio nacional y se utilice como materia prima en procesos industriales petroquímicos.

Artículo 4°.- La nación llevará a cabo la exploración y la explotación del petróleo y las demás actividades a que se refiere el Artículo 3°, que se consideran estratégicas en los términos del Artículo 28°, párrafo 4, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, por conducto de Petróleos Mexicanos y sus organismos subsidiarios.

Salvo lo dispuesto en el Artículo 3°, el transporte, el almacenamiento y la distribución de gas podrán ser llevados a cabo, previo permiso, por los sectores social y privado, los que podrán construir, operar y ser propietarios de ductos, instalaciones y equipos, en los términos de las disposiciones reglamentarias, técnicas y de regulación que se expidan.

El transporte, el almacenamiento, y la distribución de gas metano, queda incluida en las actividades y con el régimen a que se refiere el párrafo anterior.

Cuando en la elaboración de productos petroquímicos distintos a los básicos enumerados en la fracción III del artículo 3°, de esta Ley, se obtengan como subproductos, petrolíferos o petroquímicos básicos, estos podrán ser aprovechados en el proceso productivo dentro de las plantas de una misma unidad o complejo, o bien ser entregados a Petróleos Mexicanos o a sus organismos subsidiarios, bajo contrato y en los términos de las disposiciones administrativas que la Secretaría de Energía expida.

Las empresas que se encuentren en el supuesto a que se refiere el párrafo anterior tendrán la obligación de dar aviso a la Secretaría de Energía, la cual tendrá la facultad de verificar el cumplimiento de las citadas disposiciones

administrativas y, en su caso imponer las sanciones que se refiere el artículo 15° de esta Ley.

Artículo 15.- Las infracciones a esta ley y a sus disposiciones reglamentarias podrán ser sancionadas con multas de 1,000 a 100,000 veces el importe del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, en la fecha en que se incurra en la falta, a juicio de la autoridad competente, tomando en cuenta la importancia de la falta.

En caso de infracción a lo dispuesto por los párrafos cuarto y quinto del artículo 4° de esta Ley, sin perjuicio de las sanciones previstas en el párrafo anterior, el infractor perderá en favor de Petróleos Mexicanos los subproductos petrolíferos o petroquímicos básicos obtenidos.

TRANSITORIOS

Primero.- El presente decreto entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Segundo.- Petróleos Mexicanos conservará en propiedad y mantendrá en condiciones de operación los ductos y sus equipos e instalaciones accesorios para el transporte de metano, en los términos del artículo tercero transitorio del Decreto de reformas a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en el Ramo del Petróleo, publicado en el Diario Oficial de la Federación de 11 de mayo de 1995.

- Todos los productos que se proponen como básicos son carburos de hidrógeno, estos productos tienen la característica común, de acuerdo con las tecnologías actuales, de ser los productos que dan inicio a todas las cadenas petroquímicas, y de resultar de un primer proceso industrial de transformación.

Para resumir este interesante aspecto de la petroquímica a lo largo de la historia, presentamos los cuadros siguientes que ejemplifican los cambios ocurridos en la clasificación de estos productos.

PRODUCTOS PETROQUÍMICOS EXCLUSIVOS DE PEMEX (BÁSICOS)					
1960	1986	1989	1992	1996	
CADENA PRIMARIA	ETANO HEPTANO HEXANO PENTANOS	ETANO HEPTANO HEXANO PENTANOS	BUTANOS ETANO HEPTANO HEXANO NAFTAS PENTANOS PROPANO	BUTANOS ETANO HEPTANO HEXANO NAFTAS PENTANOS PROPANO METANO ^{1/}	
CADENA SECUNDARIA	ETILENO PROPILENO BENCENO TOLUENO XILENOS METANOL BUTADIENO	ETILENO PROPILENO BENCENO TOLUENO XILENOS METANOL BUTADIENO OLEFINAS INTERMEDIAS	ETILENO PROPILENO BENCENO TOLUENO XILENOS METANOL BUTADIENO	ETILENO PROPILENO BENCENO TOLUENO XILENOS METANOL BUTADIENO	
CADENA TERCARIA	POLIETILENOS POLIPROPILENO DODECILBENCENO ISOPROPANOL CLORURO DE ETILENO DICLOROETANO CUMENO	ACETALDEHIDO ORTONITRILLO ACRILONITRILLO ALFA-OLEFINAS CICLOHEXANO CUMENO DICLOROETANO DODECILBENCENO ETER METIL TERBUTILICO ETILBENCENO ISOPROPANOL ORTOXILENO OXIDO DE ETILENO PARAXILENO POLIETILENO A.D. POLIETILENO B.D. TETRAMERO DE PROPILENO	DODECILBENCENO ORTOXILENO PARAXILENO TERAMIL METIL ETER TETRAMERO DE PROPILENO	DODECILBENCENO ORTOXILENO PARAXILENO TERAMIL METIL ETER TETRAMERO DE PROPILENO	
CADENA SUBSECUENTE	ESTIRENO	CLORURO DE VINILO ESTIRENO			
REFINACIÓN		MATERIA PRIMA PARA NEGRO DE HUMO N-PARAFINAS	MATERIA PRIMA PARA NEGRO DE HUMO N-PARAFINAS	MATERIA PRIMA PARA NEGRO DE HUMO	MATERIA PRIMA PARA NEGRO DE HUMO
SIN MOLÉCULA DE CARBONO	AMONIACO	AMONIACO	AMONIACO	AMONIACO	

1/ Cuando provenga de carburos de hidrógeno, obtenidos de yacimientos ubicados en el territorio nacional y se utilice como materia prima en procesos industriales petroquímicos.

Cuadro I.1. Clasificación de productos petroquímicos por cadena.

Fuente: (2). Desincorporación de la petroquímica no básica (cronología)

**RECLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS PETROQUÍMICOS
ORIGINALMENTE EXCLUSIVOS DE PEMEX**

1960	1986 ^{2/}	1989 ^{3/}	1992 ^{4/}	1996 ^{5/}
Productos originales exclusivos de Pemex	Nuevos productos exclusivos	Nuevos productos exclusivos	Nuevos productos exclusivos	Nuevos productos exclusivos
Amoniaco Benceno Butadieno Cloruro de etileno Cumeno Dicloroetano Dodecibenceno Estireno Etileno Isopropanol Metanol Polietileno alta d. Polietileno baja d. Polipropileno Propileno Tolueno Xilenos	Acetaldehido Acetonitrilo Acrilonitrilo Alfa olefinas Ciclohexano Cloruro de vinilo Etano Éter metil terbutílico Etilbenceno Heptano Hexano Materia prima para N.H. N-parafinas Olefinas internas Ortoxileno Óxido de etileno Paraxileno Pentanos Tetrámero de propileno Reclasificados a secundarios Polipropileno Desregulados Cloruro de etileno	Ter amil metil éter Reclasificados a secundarios Acetaldehido Acetonitrilo Acrilonitrilo Alfa olefinas Ciclohexano Cloruro de vinilo Cumeno Dicloroetano Estireno Éter metil terbutílico Etilbenceno Isopropanol Olefinas internas Óxido de etileno Polietileno alta d. Polietileno baja d.	Butanos Naftas Propano Reclasificados a secundarios Amoniaco Benceno Butadieno Etileno Metanol N-parafinas Ortoxileno Paraxileno Propileno Tolueno Xilenos Desregulados Acetaldehido Acetonitrilo Acrilonitrilo Alfa olefinas Ciclohexano Cloruro de vinilo Cumeno Dicloroetano Estireno Éter metil terbutílico Etilbenceno Isopropanol Olefinas internas Óxido de etileno Polietileno alta d. Polietileno baja d. Tetrámero de propileno	Metano ^{1/}

^{1/} Cuando provenga de carburos de hidrógeno, obtenidos de yacimientos ubicados en el territorio nacional y se utilicen como materia prima en procesos industriales petroquímicos.

^{2/} Publicado en el D.O.F. el 13 de octubre de 1986

^{3/} Publicado en el D.O.F. el 15 de agosto de 1989

^{4/} Publicado en el D.O.F. el 17 de agosto de 1992

^{5/} Publicado en el D.O.F. el 29 de octubre 1996

Nota: Se elimina la restricción a la inversión extranjera en la petroquímica secundaria, de acuerdo con la ley de inversión extranjera, publicada en el D.O.F. el 27 de diciembre de 1993

Cuadro I.2. Clasificación de productos petroquímicos por año
Fuente: (2) Desincorporación de la petroquímica no básica (cronología)

CLASIFICACIÓN DE PETROQUÍMICOS POR PRODUCTO			
PRODUCTO	CLASIFICACIÓN COMO PRODUCTO EXCLUSIVO	RECLASIFICACIÓN COMO PETROQUÍMICO SECUNDARIO	DESREGULACIÓN
Acetaldehído	1986	1989	1992
Acetonitrilo	1986	1989	1992
Acilonitrilo	1986	1989	1992
Alfa olefinas	1986	1989	1992
Amoniaco	1960	1992	
Benceno	1960	1992	
Butadieno	1960	1992	
Butanos	1992		
Ciclohexano	1986	1989	
Cloruro de etileno	1960		
Cloruro de vinilo	1986	1989	
Cumeno	1960	1989	1992
Dicloroetano	1960	1989	1992
Dodecibenceno	1960		1992
Estireno	1960	1989	1992
Etano	1986		
Éter metil terbutílico	1986	1989	
Etilbenceno	1986	1989	
Etileno	1960	1992	
Heptano	1986		
Hexano	1986		
Isopropanol	1960	1989	1992
Materia prima para N.H.	1986		
Metano ^{1/}	1996		
Metanol	1960	1992	
Naftas	1992		
N-parafinas	1986	1992	
Olefinas internas	1986	1989	1992
Ortoxileno	1986	1992	
Óxido de etileno	1986	1989	
Paraxileno	1986	1992	
Pentanos	1986		
Poliétileno alta d.	1960	1989	1992
Poliétileno baja d.	1960	1989	1992
Polipropileno	1960	1986	1992
Propano	1992		
Propileno	1960	1992	
Ter amil metil éter	1989		1992
Tetrámero de propileno	1986		1989
Tolueno	1960	1992	
Xilenos	1960	1992	

^{1/} Cuando proviene de carburos de hidrógeno, obtenidos de yacimientos ubicados en el territorio nacional
y se utilice como materia prima en procesos industriales petroquímicos

Cuadro I.3. Clasificación de petroquímicos por productos.
Fuente: (2) Desincorporación de la petroquímica no básica (cronología)

PRIMERA SECCIÓN

CAPÍTULO PRIMERO

GENERALIDADES

CAPÍTULO PRIMERO. GENERALIDADES

Los polietilenos son resinas termoplásticas producidas por procesos de alta o baja presión al utilizar sistemas catalíticos sofisticados; esto da como resultado una familia de polímeros (de baja densidad, alta densidad, lineal de baja densidad, alto peso molecular, ultra alto peso molecular) que tienen diferentes comportamientos y características de funcionalidad.

Pertencen al grupo de los polímeros de las poliolefinas. Estas provienen de hidrocarburos simples, compuestos por átomos de carbono e hidrógeno y con dobles enlaces C-C. Ejemplos de éstos son el etileno, el propileno, y el isobutileno.

1.1 HISTORIA

En los años 1869-1879, varios científicos publicaron informes sobre los polímeros de las olefinas. Estos materiales en estado gaseoso tienen poca tendencia a polimerizar, así pasaron algunos años antes de lograrse la polimerización del etileno. En 1898, Von Pechmann obtiene el primer polietileno a partir de diazometano. En 1900, Bamberger y Tschirner analizaron un producto similar, encontrando que tenía la fórmula $-(CH_2)_n$ y lo llamaron "polimetileno".

El polietileno fue obtenido accidentalmente por los estudios a alta presión del etileno que Michaels realizó en Amsterdam. Este fue un hallazgo afortunado que aprovechó Gibson para producir Polietileno, a partir de una mezcla de etileno y benzaldehído. Para 1935, en Inglaterra, los químicos e ingenieros W. Faucett, G. Paton, W. Perrin y G. Williams, polimerizaron etileno utilizando altas presiones y temperaturas. Este descubrimiento permitió a la empresa ICI la fabricación del Polietileno en 1938.

En 1952 K. Ziegler, desarrolló en Alemania un procedimiento de polimerización de etileno sin presión, recurriendo a catalizadores de alquil-aluminio y otros similares. En 1954 se desarrolla el proceso Phillips, con el uso de catalizadores de óxidos metálicos. Estos procesos proporcionan polímeros a bajas presiones y temperaturas, y en consecuencia se tienen algunas modificaciones en la estructura; esto se refleja en el aumento de la densidad, son más duros y tienen mayores temperaturas de ablandamiento.

En 1954 el profesor Ziegler inventó un polietileno lineal de alta densidad con peso molecular ultra alto con un rango de 3 a 6 millones conocido como UHMWPE, el cual es un termoplástico con propiedades químicas similares a las del PEAD, sin embargo, su peso molecular extremadamente alto lo provee de una resistencia excepcional al impacto y a la abrasión.

En los años 60's, Union Carbide desarrollo un proceso en el cual se producía polietileno en fase gaseosa, no requería de disolventes y ocurría la polimerización a baja presión; empleaba un catalizador basado en cromo.

Al término de los años 70 apareció el Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD) que fue visto con un interés considerable, ya que muestra propiedades y estructura intermedia entre los materiales obtenidos a baja y alta presión. En esta época también se anunció un proceso de fase gaseosa del polietileno de alta densidad, por parte de Union Carbide, lo que permitió la producción económica de PEBD en condiciones de baja presión (menores de 100 psi)

El Polietileno de muy baja densidad es introducido por Unión Carbide en 1985 y, en 1990 con las investigaciones de los catalizadores metalocénicos, las compañías Exxon y Dow comenzaron la producción de los primeros polímeros olefinicos, que combinan procesabilidad y buenas propiedades mecánicas.

1.2 MATERIAS PRIMAS

El etileno es la materia prima para la obtención del polietileno, también existe Polietileno copolímero (polietileno lineal de baja densidad, PELBD), que además del etileno, contiene 1-buteno, 1-hexeno o 1-octeno.

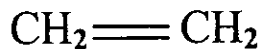
1.2.1 *Descripción del proceso de obtención del monómero de etileno*

Se obtiene del gas natural (figura 1.1) y del petróleo (figura 1.2) mediante el craqueo¹ a temperaturas elevadas. Otra forma de obtención es mediante la separación de las primeras fracciones obtenidas en la destilación primaria del petróleo.

1.2.2 *Estructura*

El etileno, también llamado eteno (siendo una alfa-olefina²) es un hidrocarburo que pertenece a la familia de los alquenos, ya que tiene un doble enlace entre los carbonos.

Gracias a ese doble enlace se lleva a cabo la polimerización. La estructura química del etileno es la siguiente:



¹ Proceso para convertir fracciones de petróleo (gas, naftas y gasóleo) en olefinas (craqueo térmico) o moléculas tipo gasolina (craqueo catalítico) por medio de un termofraccionamiento catalítico de las cadenas de hidrocarburos.

² El término alfa-olefinas se utiliza para designar a las mono-olefinas lineales que tiene la estructura química general R-CH=CH_2 , en las que la doble ligadura se encuentra localizada en el carbón alfa, a diferencia de las olefinas internas, en las que la doble ligadura se encuentra en los carbonos posteriores.

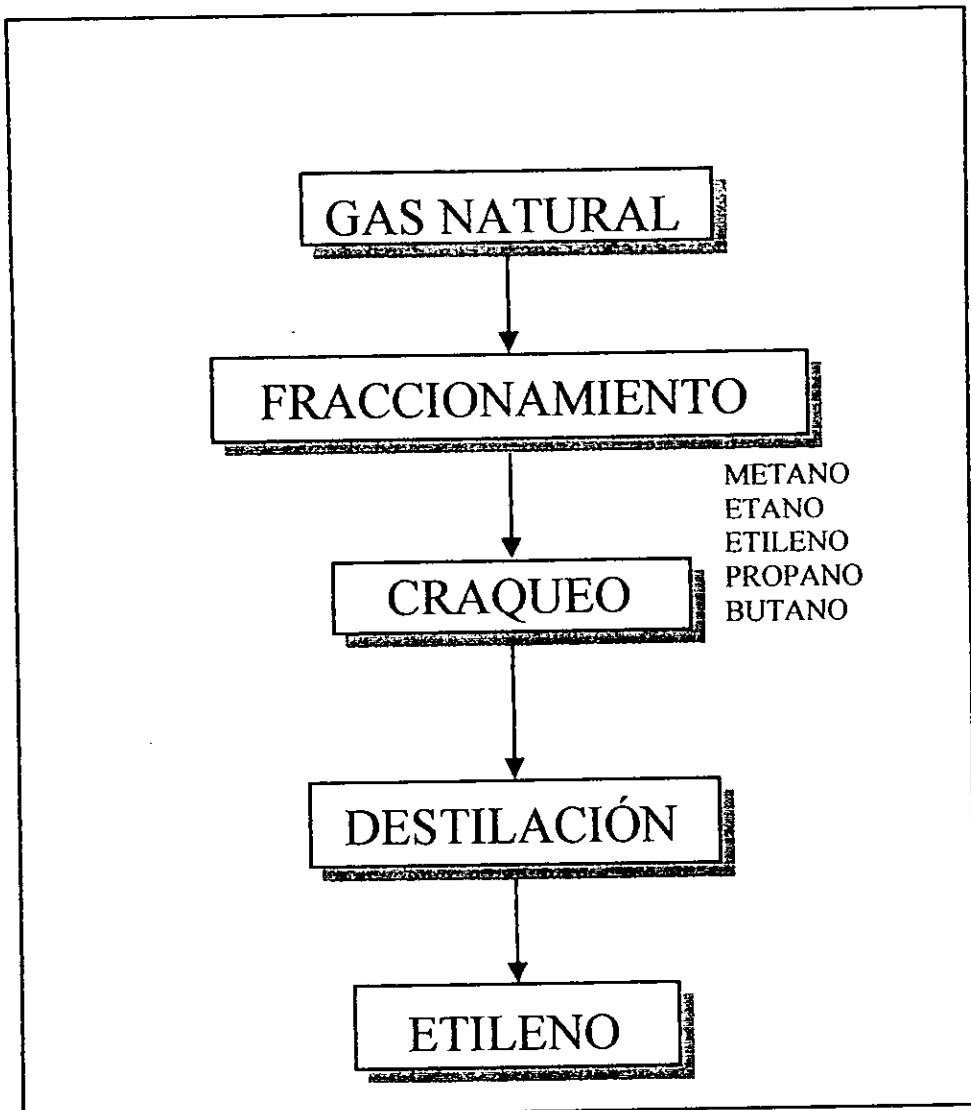


Figura 1.1. Obtención de etileno a partir de gas natural.

Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

1.2.3 Propiedades

El etileno es un gas incoloro con olor dulce y temperatura de autoignición de 450° C. A una pureza no menor de 96% en volumen, es ligeramente soluble en agua, alcohol y éter etílico. Es poco tóxico y extremadamente inflamable.

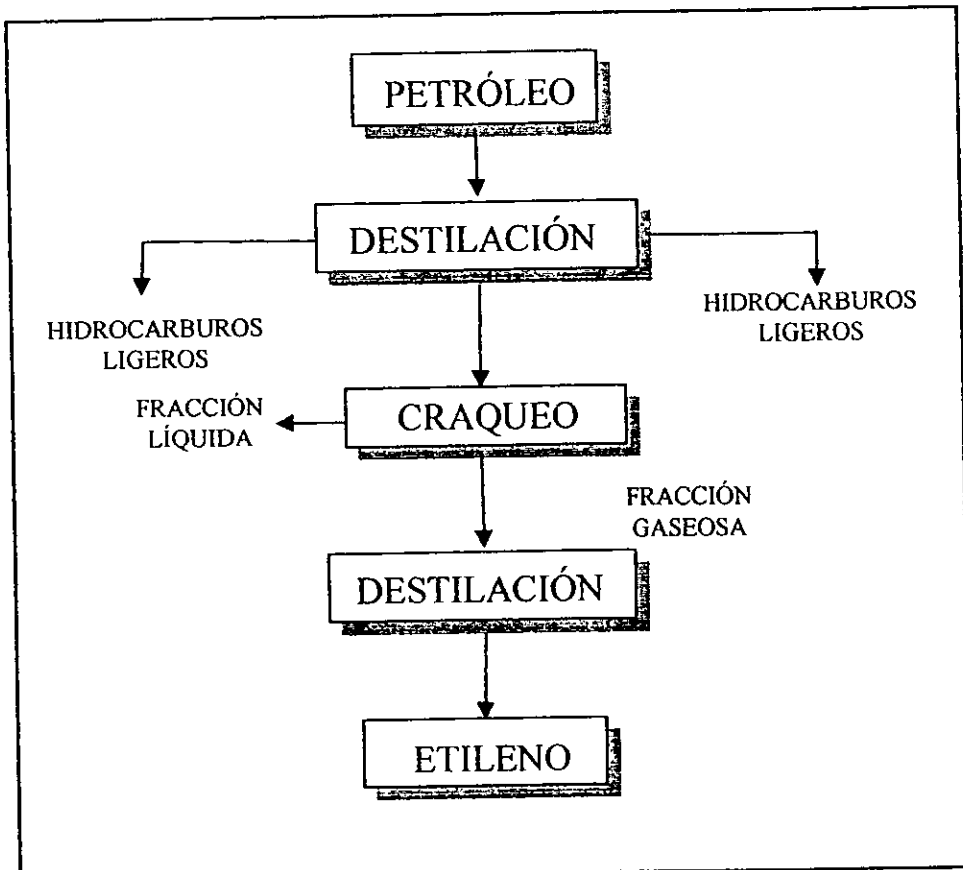


Figura 1.2. Obtención de etileno a partir de petróleo.
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

1.3 CLASIFICACIÓN

Todos los polietilenos poseen propiedades eléctricas excelentes, gran resistencia al agua y a la humedad, y buena resistencia a disolventes orgánicos y productos químicos. Son materiales traslúcidos, de peso ligero, resistentes y flexibles.

Los polietilenos se clasifican por:

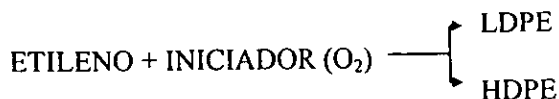
- Contenido de monómeros
 - Homopolímeros
 - Copolímeros
- Densidad
 - Baja densidad
 - Alta densidad
- Peso molecular
 - Alto peso molecular
 - Ultra alto peso molecular

Las tres clasificaciones, además de la distribución de pesos moleculares, son características de las poliolefinas, que de alguna forma definen el uso y tipo de procesamiento de cada una de ellas. A estas tres propiedades también se les conocen como propiedades de caracterización de poliolefinas, porque juntándolas proporcionan todas las características del material y cuidados para transformarlo.

1.3.1 *Contenido de monómeros*

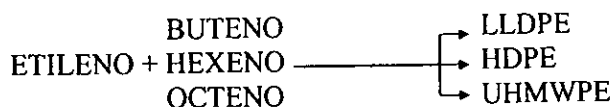
a) Homopolímero

Es un polímero obtenido de un monómero, que con la ayuda del iniciador (oxígeno) realiza su polimerización:



b) Copolímero

Es un polímero que se produce por la adición de dos o más monómeros diferentes:



1.3.2 Densidad

Los polietilenos son clasificados de acuerdo al código ASTM, por su densidad como:

Baja densidad de: 0.910 - 0.950 g/cm³

<i>Abreviación</i>	<i>Nombre</i>
PEBD (<i>LDPE</i> [*])	Polietileno de baja densidad
PELBD (<i>LLDPE</i> [*])	Polietileno lineal baja densidad

* Abreviación en inglés.

Alta densidad de: 0.951 - 0.97 g/cm³

<i>Abreviación</i>	<i>Nombre</i>
PEAD (HDPE [*])	Polietileno de alta densidad
PED-APM (HMWHDPE [*])	Polietileno alta densidad alto peso molecular
UHMWPE [*]	Polietileno ultra alto peso molecular

Los efectos que existen al aumentar la densidad se muestran en el cuadro 1.1.

PROPIEDAD	EFEECTO
<i>Rigidez</i>	Aumenta
<i>Dureza</i>	Aumenta
<i>Resistencia a la tensión</i>	Aumenta
<i>Resistencia a la abrasión</i>	Aumenta
<i>Resistencia química</i>	Aumenta
<i>Barrera a gases</i>	Aumenta
<i>Brillo</i>	Disminuye
<i>Punto de reblandecimiento</i>	Aumenta
<i>Impacto a bajas temperaturas</i>	Aumenta
<i>Resistencia al rasgado (película)</i>	Disminuye
<i>Elongación</i>	Disminuye

Cuadro 1.1. Efectos del aumento de la densidad en el Polietileno
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

* Abreviación en inglés.
* Tiene la misma abreviación en inglés.

La densidad está en función directa de la cristalinidad.

1.3.3 *Índice de fluidez*

El índice de fluidez del polietileno es, como su nombre lo indica, una medida de la fluidez y del grado de procesabilidad del material, expresada en g/10 minutos.

El índice de fluidez está en función inversa del peso molecular del polímero.

Generalmente su valor se encuentra entre 0.1 y 70.0 g/10 minutos.

1.3.4 *Peso molecular*

Está relacionado con el índice de fluidez e influye en el método con que se podrá transformar el plástico.

CLASIFICACIÓN	P. M. g/gmol
LDPE	100,000 – 300,000
LLDPE	200,000 – 500,000
HDPE	200,000 – 400,000
HMWHDPE	200,000 – 500,000
UHMWPE	1,500,000 – 6,000,000

Cuadro 1.2. Clasificación según el Peso Molecular.
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

PROPIEDAD	EFFECTO
<i>Viscosidad de la masa fundida</i>	Aumenta
<i>Resistencia a la tensión</i>	Aumenta
<i>Resistencia al impacto</i>	Aumenta
<i>Dureza</i>	Aumenta
<i>Resistencia a la abrasión</i>	Aumenta
<i>Elongación</i>	Disminuye
<i>Resistencia química</i>	Aumenta
<i>Barrera contra gases</i>	Aumenta
<i>Punto de reblandecimiento</i>	Aumenta
<i>Transparencia</i>	Disminuye
<i>Brillo</i>	Disminuye
<i>Índice de fluidez</i>	Disminuye

Cuadro 1.3. Efectos del aumento del peso molecular en el PE.
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

1.4 ESTRUCTURA

Los polímeros de etileno son hidrocarburos saturados, de alto peso molecular y poco reactivos. Las macromoléculas no están unidas químicamente entre sí, excepto en los productos reticulados.

Por su estructura simétrica, presenta una gran tendencia a cristalizar, por ello el polietileno es un termoplástico semicristalino.

Según las condiciones de operación durante la reacción para la obtención del polietileno (presión, temperatura, uso de iniciadores y catalizadores), la polimerización puede originar tanto macromoléculas lineales o poco ramificadas, como macromoléculas muy ramificadas. La frecuencia con que aparecen las ramificaciones se denomina grado de ramificación y se indica con el número de ramificaciones por cada 1000 átomos de carbono de la cadena principal.

Las diferencias mencionadas en la cadena de la macromolécula de polietileno se refleja en las características físicas de cada tipo de polietileno.

El polietileno con cadenas poco ramificadas tienen gran cristalinidad. La cristalinidad alta y la distancia corta entre macromoléculas vecinas hacen que el polietileno tenga una alta densidad y mayor resistencia mecánica.

Por otra parte, debido a la estructura complicada del polietileno de macromoléculas muy ramificadas, tiene una cristalinidad menor que el polietileno de cadenas lineales. La mayor distancia entre las macromoléculas resulta en una densidad menor y también menor resistencia mecánica.

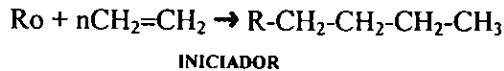
El polietileno lineal baja densidad es un copolímero de etileno con otras -olefinas como el 1-buteno, 1-hexeno o 1-octeno. Ocupa una posición intermedia en cuanto al grado de ramificación y de cristalización entre el polietileno de alta densidad y el de baja densidad. Por consiguiente, sus propiedades también son intermedias.

El polietileno con masas moleculares muy altas, se denomina polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE). Este polímero tiene un índice de fluidez de cero, de difícil procesamiento pero con buenas características de ductibilidad, propiedades a bajas temperaturas y excelente resistencia a la abrasión.

Cuanto más elevada sea la masa molecular, menor será la tendencia a la cristalización dentro de los grupos polietileno, y cuando disminuye la masa molecular, disminuye la resistencia mecánica en general, por ejemplo, la tensión de estiraje. Sin embargo, aumenta también la resistencia a la tracción, el alargamiento, la resistencia al impacto, al desgaste, resistencia a la deformación por calor y mejora la resistencia química.

1.5 PRODUCCIÓN

Como se ha visto, el etileno posee un doble enlace que se rompe por la acción de un iniciador y del calor producido por la reacción exotérmica, formando cadenas largas con una unidad etilénica repetitiva.



R₀ = Radical libre, producido por el iniciador

En la fabricación de polietileno existen dos procesos:

- Proceso de alta presión
 - Polietileno de baja densidad

- Proceso de baja presión
 - Polietileno de alta densidad
 - Polietileno lineal de baja densidad
 - Polietileno alto peso molecular
 - Polietileno ultra alto peso molecular

1.5.1 Proceso de alta presión

El etileno gaseoso, muy puro, se polimeriza (radicales libres) en presencia de un iniciador (peróxido de benzoilo, azodi-isobutironitrilo u oxígeno), a presiones y temperaturas altas (de 1,000 a 3,000 atmósferas y de 100° a 300° C, respectivamente).

La reacción se puede efectuar en reactores autoclaves con agitador o en reactores tubulares (tipo serpentín).

1.5.2 Proceso de baja presión

En los procesos de baja presión se cambian las presiones altas por catalizadores de Ziegler-Natta³ (también son usados generalmente óxidos de metales de transición), que son compuestos organometálicos de aluminio y titanio. La reacción se lleva a cabo en condiciones de 1 a 100 kg/cm² de presión y temperatura de 25° a 100° C. La polimerización puede ser:

- En solución
- En suspensión
- En fase gaseosa

La preparación del catalizador es muy importante ya que determina las propiedades del polímero.

1.6 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN

Cada uno de los polietilenos presenta diferentes características que limitan algunas veces su procesamiento en determinados métodos de transformación. Sin embargo, por los procesos de inyección y extrusión pueden transformarse la mayoría de los polietilenos.

³ Catalizadores de Ziegler-Natta: Son complejos de halogenuros de metales de transición con compuestos organometálicos; es muy típico el trietilaluminio-tricloruro de titanio.

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	TIPO DE POLIETILENO
EXTRUSIÓN – Tubería y perfiles – Recubrimientos de cable y alambre – Película soplada – Lámina	PEBD, PEBDL, PEAD, PEAD-APM
INYECCIÓN	PEBD, PEBDL, PEAD
SOPLADO – Inyección-soplo – Extrusión-soplo	PEBD, PEBDL, PEAD, PEAD-APM
TERMOFORMADO	PEBD, PEAD
ROTOMOLDEO	PEBD, PEBDL, PEAD
COMPRESIÓN Y MAQUINADO	UHMWPE

Cuadro 1.4. Usos del polietileno.

Fuente: (4) Enciclopedia del plástico.

1.6.1 Acondicionamiento previo.

a) Secado

Los polietilenos no requieren de secado ya que su absorción de humedad para el PEBD y PELBD es menor a 0.02% y para el PEAD es menor a 0.1%.

En el caso de que por condiciones adversas el material esté húmedo, se recomienda un secado en charolas, en un horno con circulación de aire caliente a 65°C durante 3 hr. o en un desecador a 80° C durante 1 a 1½ hr.

b) Regranulado

Se puede mezclar el recuperado con material virgen en una proporción del 30%, aunque algunas piezas se trabajan con el 100% de material reciclado.

Siempre que se realizan mezclas de material virgen con recuperado se debe cuidar que sean polímeros del mismo tipo, algunos grados de polietileno no son compatibles entre sí y pueden afectar el material.

1.6.2 Inyección.

El moldeo por inyección con PEBD, PELBD y PEAD emplea condiciones de operación semejantes, variando solo el perfil de temperatura; éste puede variar de acuerdo al índice de fluidez y al grado del material utilizado.

Los principales problemas que se presentan en la inyección de polietilenos son:

PROBLEMAS

CAUSAS

Piezas incompletas

Falta de plastificación o poca presión para la inyección.

Piezas con mucha rebaba

Temperaturas muy altas de plastificación o una presión muy alta de inyección.

1.6.3 Extrusión

Los tipos de polietileno que se pueden procesar por este método son: PEBD, PELBD, PEAD, HMW-HDPE.

El perfil de temperaturas varía de acuerdo al grado del material a transformar, al tipo de producto a obtener (película, tubería, lámina, recubrimiento de cable, etc.) y en ocasiones hasta de los limitantes de la misma máquina.

El polietileno lineal de baja densidad, por sus propiedades reológicas, requiere de algunos cambios en la maquinaria (por ejemplo: los husillos deben ser diseñados para reducir la disipación de energía en forma de calor o potencia del motor, así como también el acabado del husillo sea de carburo de tungsteno u otras aleaciones de alta dureza ya que el PELBD es un poco más abrasivo que el PEBD.

El polietileno lineal crea alta presión en los equipos en que se trabaja el polietileno convencional; ello se debe a la gran viscosidad que presenta en estado fundido. La consecuencia de la sobrepresión es un arrugamiento en la película.

La mezcla de PEBD y PELBD es la más importante dentro de los polietilenos, ya que presenta ventajas como: mejorar las propiedades mecánicas con respecto al polietileno de baja densidad y disminuir costos respecto al polietileno lineal de baja densidad. La mezcla de estas dos resinas se puede hacer en un tambor, colocando la cantidad exacta en porcentaje de peso, según el rango que se desea trabajar.

El tiempo de mezclado del material para que esté listo para alimentar al extrusor, es de 10 a 15 min. Cuando se trabajan mezclas hasta con un 30% de polietileno lineal no se requiere de ninguna modificación en los equipos.

Mediante procesos de laminación (que consiste en unir una película delgada de polietileno a uno o más sustratos, con el fin de combinar las propiedades de los materiales) se pueden obtener combinaciones de polietileno en donde es importante un buen sellado de los empaques sin que éstos retengan el sabor de los alimentos. Por ejemplo, con papel kraft o cartón para el envase de leche, jugos y alimentos congelados.

1.6.4 Soplado

El proceso de soplado en polietileno se puede llevar a cabo por extrusión soplado e inyección soplado.

El proceso de moldeo por soplado consiste en obtener una pieza tubular de polietileno plastificado. La pieza tubular recibe el nombre de párison o

preforma, que es atrapada entre las secciones huecas que componen el molde y que al inyectarle aire a presión se obliga al material plastificado a tomar la forma del molde.

1.6.5 Termoformado

Es el moldeo de láminas de plástico por la acción del calor y una fuerza de formado, que puede ser por presión o vacío.

El método para el termoformado es el siguiente: el plástico en forma de lámina se calienta a una determinada temperatura, después es moldeado y finalmente enfriado.

La calidad de una pieza termoformada no sólo depende de los pasos del método de termoformado, sino también de la calidad de la lámina extruida con la que se hace el formado.

Por las propiedades de la lámina de polietileno, éste puede ser termoformado por cualquiera de las técnicas usadas por el poliestireno o cualquier otro plástico.

La selección de la técnica depende de aspectos tales como: la dimensión de la pieza, tipo de superficie (texturizada o lisa), espesor de las paredes, profundidad del dibujo y otros.

Las piezas de termoformado tienen un porcentaje de encogimiento para el polietileno de baja densidad de 3.0 a 3.5%.

El rango de temperaturas para el termoformado de polietilenos oscila entre los 120 - 135°C.

1.6.6 Rotomoldeo

El moldeo rotacional fue empleado originalmente para plastisoles líquidos de vinilo en partes huecas flexibles como balones inflados y juguetes como cabezas de muñeca.

Durante los años 50's los moldeadores comenzaron a usar este proceso para el polietileno. El rotomoldeo en polietileno necesita de resina en polvo; el polvo está disponible en polietileno de baja y alta densidad, teniendo índices de fluidez que varían de 2.5 a 25 g /10 min. De acuerdo al tamaño de la pieza y el espesor de pared, cambia el tiempo de permanencia en el horno.

Las resinas han sido usadas en muchas aplicaciones sometidas a moderados niveles de esfuerzo.

1.6.7 Compresión

Este moldeo sólo es aplicable para el UHMWPE porque su peso molecular está entre 3,000,000 y 6,000,000 g/gmol; no puede ser procesado por técnicas convencionales tales como la inyección, extrusión y termoformado, ya que las grandes cadenas de moléculas no pueden ser procesadas como en el caso de los termoplásticos comunes.

1.6.8 Maquinado

Una vez transformado el UHMWPE puede ser procesado mediante máquinas que trabajan madera o herramientas para: aserrado, cepillado, fresado, barrenado y torneado; además pueden fabricarse engranes con él, debido a una mejor disipación del calor que los de metal. El cálculo de la resistencia del diente puede ser estimado como si fueran dientes de metal.

1.6.9 Acabado

Debido a que el polietileno es un material apolar, la labor de impresión se dificulta porque las tintas no logran anclar sobre el material. Es por ello que

se requiere de un tratamiento denominado "corona" en el que oxida la cara de la pieza donde se desea imprimir.

El tratamiento corona consiste en una descarga de alto voltaje que genera una atmósfera de ozono y proporciona al material una energía superficial de 38 dinas / cm., la cual produce porosidad superficial al material y en consecuencia las tintas pueden anclarse.

El acabado es temporal, por lo que se recomienda que después de que se aplica el tratamiento corona, se realice la impresión, ya que de no ser así, a los tres meses desaparecen los efectos superficiales.

CAPITULO SEGUNDO
INFORMACION ESTADISTICA
Y DE MERCADO

CAPÍTULO SEGUNDO

INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y DE MERCADO

El comportamiento reciente de la economía mundial y nacional, así como sus repercusiones en la actividad industrial afectarán significativamente a la industria petroquímica mexicana. En particular, se espera una disminución en el precio de los petroquímicos a nivel internacional, con una consecuente pérdida en competitividad de los productos nacionales.

Actualmente nos encontramos al comienzo de un nuevo ciclo a la baja en los precios de los productos petroquímicos, por lo que se espera una disminución de precios a lo largo de 1998 que posiblemente tocará fondo a finales de año o principios de 1999. No se considera una recuperación importante sino hasta pasado el año 2000.

Estas proyecciones se esperan para toda la industria petroquímica, y particularmente para los productos de mayor volumen. Obviamente, el ciclo afecta de manera diferente a los diversos productos, según el comportamiento coyuntural de los mercados y su posicionamiento a lo largo de las cadenas de valor.

Como se muestra a continuación, a partir de 1996 o 1997, dependiendo del producto, se viene presentando una disminución en la utilización de la capacidad instalada para algunos petroquímicos en dos de las regiones más importantes del mundo; se estima que esta tendencia continuará por lo menos a lo largo de 1998.

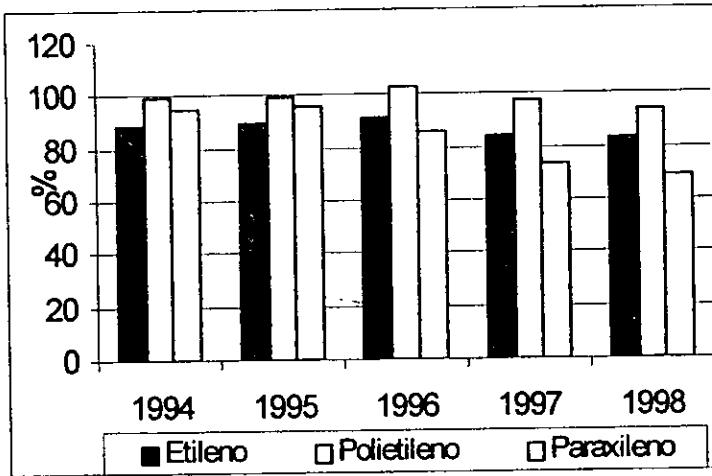


Figura 2.1. Utilización de la capacidad instalada Asia y Norteamérica (por ciento)

Fuente: (19) Anuario estadístico de la Industria Química Mexicana 1997

Este comportamiento ha incidido en la tendencia de los precios. Específicamente, desde 1996 se observa una caída en los precios de etileno, polietileno y paraxileno que se espera continúe durante 1998.

Parte importante de esta disminución se debe a la ciclicidad inherente a estos productos, por lo que se podría considerar que este comportamiento era esperado. Sin embargo, también es importante reconocer que la caída es aún más pronunciada debido a los efectos de la coyuntura económica a nivel mundial antes mencionada.

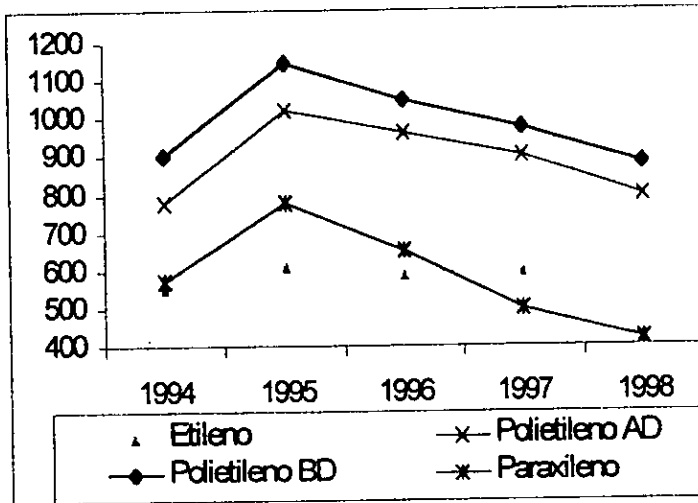


Figura 2.2. Precio de productos petroquímicos CNGM
Fuente: (19) Anuario estadístico de la Industria Química Mexicana 1997

2.1 CAPACIDAD Y PRODUCCIÓN

Para abastecer al mercado nacional de polietileno, Pemex cuenta con 4 centros petroquímicos con una capacidad instalada total de 509,000 toneladas anuales para 1996. A continuación se presenta la relación de capacidad y producción de los polietilenos por centro petroquímico.

Producto	Capacidad (MTA)
Polietileno de Alta Densidad	200
• Morelos	100
• Escolin	100
Polietileno de Baja Densidad	309
• Cangrejera	240
• Escolin	51
• Reynosa	18
Total	509

Cuadro 2.1. Capacidad instalada de PEAD Y PEBD.
Fuente: (23) Memoria de Labores Pemex 1996.

2.1.1 Producción de polietileno de alta densidad.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Morelos	117	115	110	120	99	116
Escolín	96	105	87	82	82	76

Cuadro 2.2. Producción de PEAD por centro petroquímico
Fuente: (23)Memorias de Labores de Pemex, varios años.

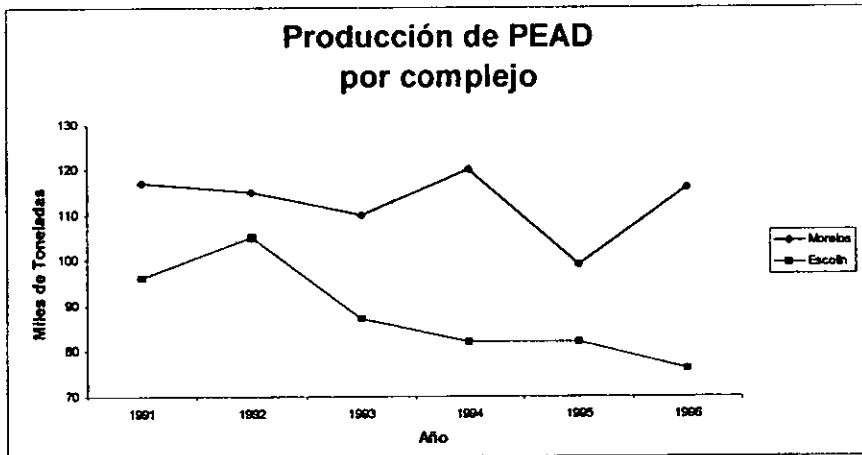


Figura 2.3. Producción de PEAD por centro petroquímico.

2.1.2 Producción de polietileno de baja densidad

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Cangrejera	256	269	232	270	275	266
Escolín	57	62	55	54	53	52
Reynosa	25	24	21	17	17	18

Cuadro 2.3. Producción de PEBD por centro petroquímico
Fuente: (23)Memorias de Labores de Pemex, varios años.

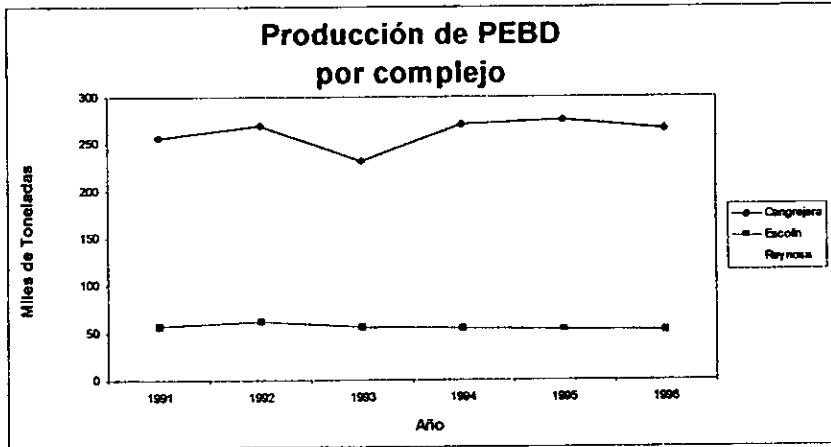


Figura 2.4. Producción de PEBD por centro petroquímico.

2.2 OFERTA Y DEMANDA.

2.2.1 Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

Este producto es una de las resinas más extensamente usadas en la industria del plástico debido a sus excelentes propiedades físicas y su amplia aplicación en forma de película y en menor grado en artículos moldeados por inyección y por extrusión.

Su consumo, cubierto parcialmente por importaciones, ha mantenido un ritmo de crecimiento de 30.3 % en el periodo 1990-1996, con sólo un decremento ocurrido en 1995, atribuido a la crisis económica por el "error de diciembre".

La demanda futura estimada para este producto crecerá con una tasa promedio anual de 5 % en el periodo 1997-2005.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2005
Producción	348	338	355	308	341	345	336	340	390
Demanda	346	354	418	426	467	409	451	550	700
Importación	25	34	70	127	157	107	148	210	310
Exportación	27	17	7	8	32	44	34	0	0

Cuadro 2.4. Mercado del PEBD

Fuente: (19) Anuario estadístico ANIQ 1996.

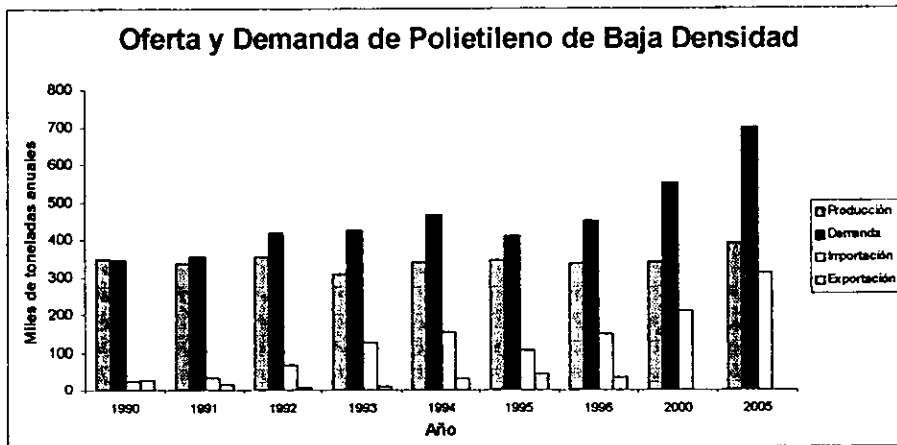


Figura 2.5. Mercado de PEBD.

2.2.2 Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Este producto tiene su principal aplicación en el campo de moldeo por soplado y en el moldeo por inyección para elaborar una gran variedad de artículos.

Su consumo había aumentado a una tasa promedio anual de 14.1% en el periodo 1990-1992. En 1993 disminuyó a 3.4%. En 1994 se recuperó parcialmente el consumo pues aumentó a 18.1%. En el año 1995 bajó abruptamente 20.9%, para recuperarse 25.7% en 1996, llegando a 357,000 toneladas.

Dado que la oferta es baja, se ha tenido que recurrir a importaciones, las que tras de haber alcanzado 106,000 toneladas en 1990, subieron a 203,000 toneladas en 1994, disminuyendo para 1996 situándose en 193,000 toneladas y previendo que para el año 2005 aumentarán a 431,000 toneladas

Se estima que la demanda futura de este producto aumentará con una tasa promedio de 93.8 % del periodo 1996-2005

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2005
Producción	176	213	220	197	202	181	192	282	287
Demanda	226	251	294	304	359	284	357	489	692
Importación	106	112	140	165	203	142	193	235	431
Exportación	56	75	66	58	45	39	42	28	26

Cuadro 2.5. Mercado del PEAD.

Fuente: (19) Anuario estadístico ANIQ 1996.

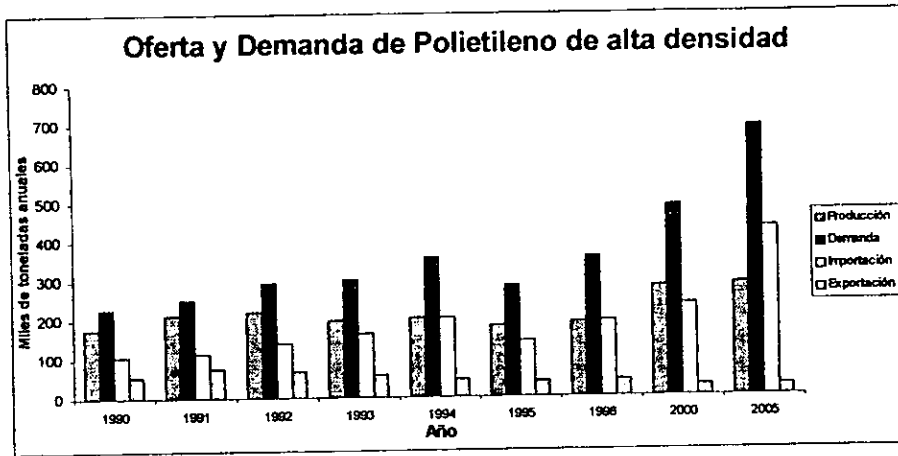


Figura 2.6. Mercado del PEAD

2.2.3 *Ventas internas*

Con respecto a las ventas internas de PEBD y PEAD, se presenta el volumen y valor reportados por Pemex, lo cual es información adicional para conocer el consumo nacional aparente y la demanda total del polímero, además de las importaciones realizadas por parte de distribuidores.

a) Volumen de las ventas internas (Miles de toneladas anuales).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
PEAD	94.5	125.0	144.8	146.5	165.6	146.2	162.2
PEBD	326.5	340.5	327.3	291.4	308.6	299.5	295.5

Cuadro 2.6. Volumen de las ventas internas.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1997 Pemex

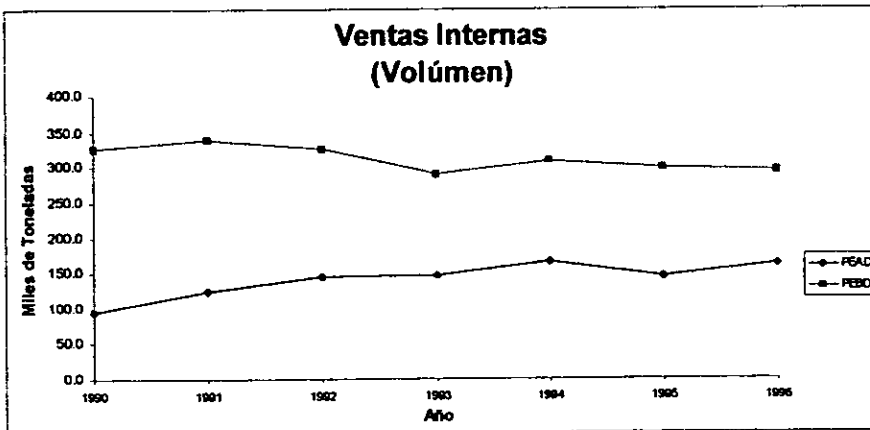


Figura 2.7. Volumen de las ventas internas.

b) Valor de las ventas internas (Millones de pesos).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
PEAD	187.0	259.4	280.1	257.0	386.8	705.8	989.8
PEBD	714.2	732.8	759.8	629.4	748.1	1,607.5	2,091.1

Cuadro 2.7. Valor de las ventas internas.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1997 Pemex

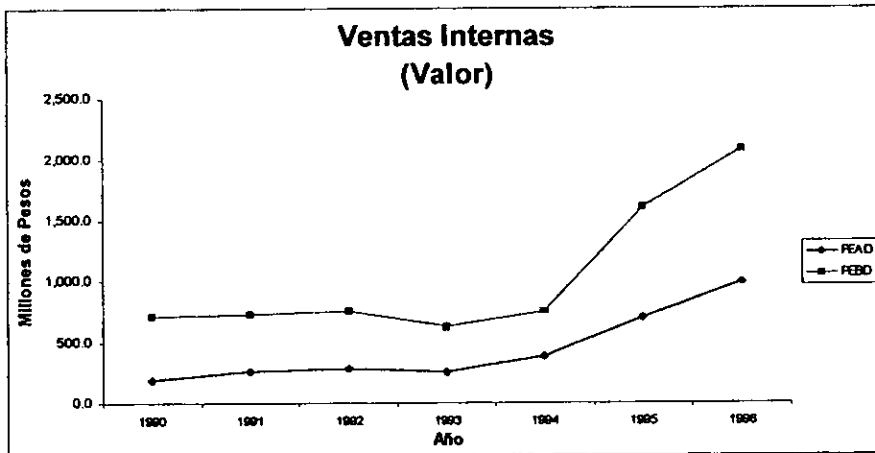


Figura 2.8. Valor de las ventas internas.

2.3 PRECIOS.

El precio del polietileno está basado en un promedio ponderado entre los precios doméstico y de exportación en el mercado estadounidense. Los factores de ponderación se establecieron para conservar inicialmente el nivel histórico de los precios. Además, el mecanismo tiene un factor de ajuste que se ha modificado para conservar competitividad, tener mayor estabilidad en caso de un cambio abrupto en las cotizaciones de referencia, así como aprovechar las oportunidades de precios y adaptarse a las fluctuaciones del mercado.

$$P_{lista} = (A + B) * C$$

donde:

A = Factor de ponderación 1 * Promedio precio doméstico

B = Factor de ponderación 2 * Promedio precio exportación

C = Factor de ajuste del mercado

A continuación se presentan los precios de los polietilenos, tanto de baja como de alta densidad.

TIPO DE PRODUCTO	Precio/Tonelada (pesos)					
	Feb-97		Mar-97		Abr-97	
	ensacado	granel	ensacado	granel	ensacado	granel
PADMEX 60003	8020	7814	8193	7987	8455	8245
Cera Polietilénica	1494	---	1364	---	1408	---
PX 17070 L	8578	8371	8750	8544	---	---
PX 18450 G	9093	8886	9275	9069	9274	9064
PX 22004	8625	8418	8798	8592	8797	8587
Concentrado P	11692	---	12687	---	11925	---
PADMEX 55010 2as	7448	7241	7548	7342	---	---
PADMEX 60003 2as	7218	7011	7374	7168	7610	7399
PADMEX 65050 2as	7073	6866	7228	7342	---	---
Barredura A.D.	*	---	*	---	*	---
PX 17070 L 2as	7720	7513	7875	7669	---	---
PX 18450 G 2as	7720	7513	7875	7669	---	---
PX 20020 X 2as	7720	7513	7875	7669	---	---
PX 22004 2as	7720	7513	7875	7669	7874	7664
Barredura B.D.	*	---	*	---	*	---

* El precio de las barreduras se fija para cada embarque, por ser producto de exportación

Cuadro 2.8. Precios al público mensuales

Fuente: (22) Indicadores petroleros. Pemex. Agosto 1997.

En los siguientes cuadros se presentan precios al público (promedio) y precios internacionales por año. El precio promedio se obtiene de lo que se vende anualmente en el país de cada grado químico. En otra lista se encuentran los precios internacionales de cada grado de polietileno, el cual es la base para obtener el precio nacional al cual se venderá.

2.3.1 *Precios al público (promedio).*

Unidades: Miles de pesos/Tonelada

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
PEAD	2.08	2.24	2.11	2.01	2.66	5.78	7.47
PEBD	2.10	2.27	2.50	2.45	2.83	6.17	8.04

Cuadro 2.9. Precios al público (promedio).

Fuente: (22) Indicadores petroleros. Pemex. Enero 1997.

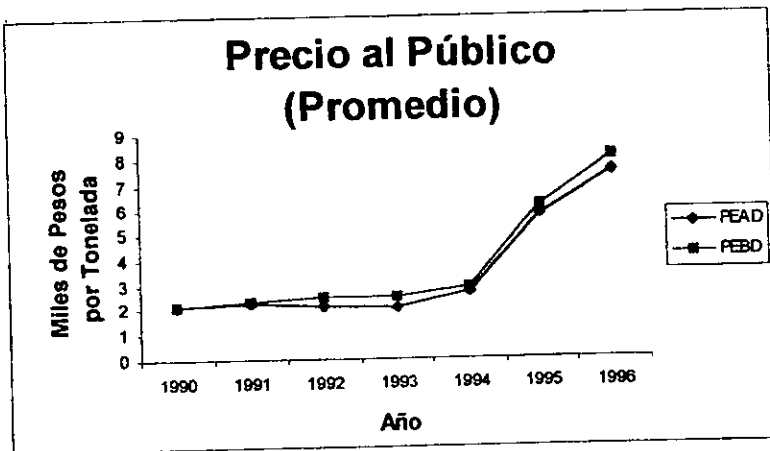


Figura 2.9. Precio al público (promedio).

2.3.2 Internacionales (Dólares/Tonelada)

a) Baja densidad

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
PX-17		431.81		613.4	447.33	576.06	
PX-20-P	705.15	750.44	649.89	599.56	721.35	589.66	
PX-20-X	1011.2	520.26	602.06	560.49	651.73		
PX-22	1091	510.85	602.15	600.34	958		
PX-17070					648.96	699.8	419.85
PX-17070-L							635.7
PX-18450-G							397.6
PX-20020-P							765.72
PX-20020-X							819.27
PX-20030							351.07
PX-21200-I				300.23	412.37	297.31	348.27
PX-22004	811.52	259.81		299.83		700.81	784.9
Barrenadura		160.03	298.86		197.33	99.99	199.5

Cuadro 2.10. Precios internacionales de PEBD.

Fuente: (20) Anuario estadístico y Presupuestal del Sector Energía 1995, 1996e

b) Alta densidad

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
PX-50003				299.28	500.64	610.72	349.42
PX-55010					500.37	199.66	399.41
PX-60003	715.06	515.27	364.94	299.86	500.27	767.19	549.02
PX-60003-P							349.88
PX-60120	1085.8	488.16	430.8	386.64	550.88	500.38	655.06
PX-65050	1091.9	467.81	430.06	376.65	549.59	561.77	628.78
PX-65080							200.66
Barredura	421.68	160.03	298.86		197.33	298.66	250.27

Cuadro 2.11. Precios internacionales de PEAD.

Fuente: (20) Anuario estadístico y Presupuestal del Sector Energía 1995, 1996e

2.4 MARGENES DE EFECTIVO

Como se ha visto en este capítulo, los precios de los petroquímicos se comportan cíclicamente, pero también es importante destacar que aunque el rango de operatividad económico es muy satisfactorio al producir PEAD o PEBD, el margen de efectivo se incrementa de manera sustancial al producir etileno y polietileno, siendo muy recomendable que en una misma planta se produjeran los polietilenos y su materia prima.

En las figuras siguientes podemos analizar la conveniencia de esta acción, ya que los márgenes de efectivo resultan ciclos inversos entre los PE's y el etileno, observando que el pico de la curva compuesta en la mayoría de las ocasiones es superior al de las otras curvas, pudiendo hacer frente al mercado internacional por abaratamiento de costos e incremento de ganancias.

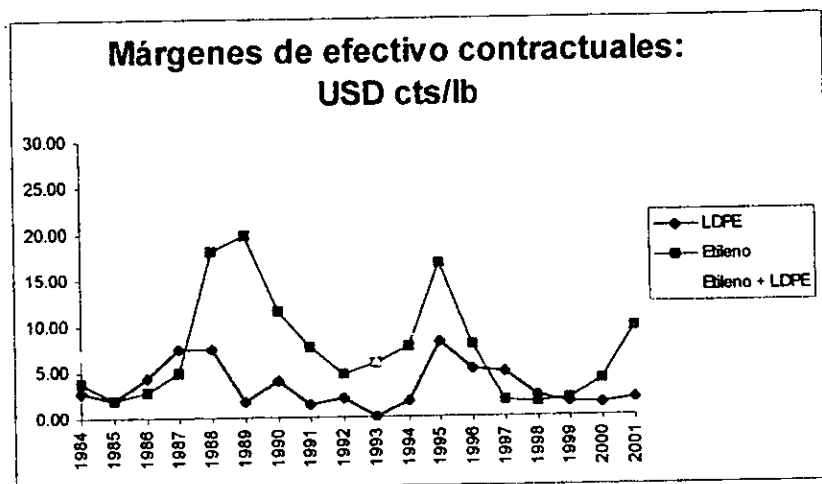


Figura 2.10. Márgenes de efectivo PEBD-Etileno

Fuente: Información proporcionada por ANIQ, fuente CMAI Jun 97

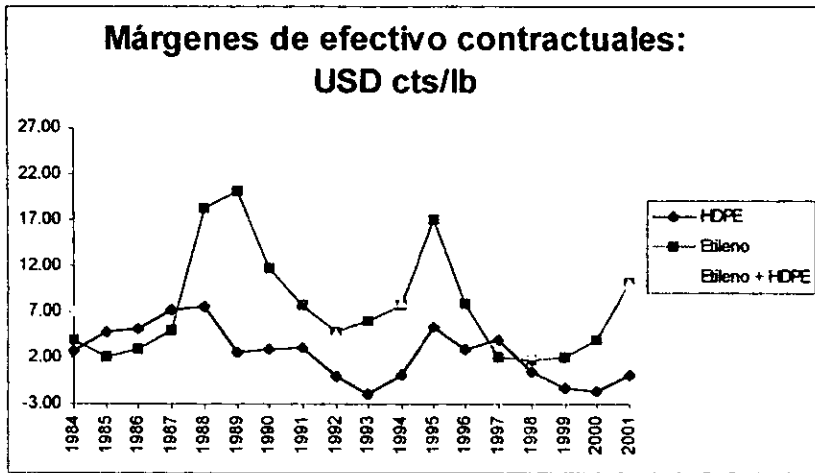


Figura 2.11. Márgenes de efectivo PEBD-Etileno
 Fuente: Información proporcionada por ANIQ, fuente CMAI Jun 97

En base a esta información, y debido a que Petroquímica Escolín cuenta con las plantas de PEBD y PEAD así como la producción de etileno, podemos afirmar que este centro tiene un gran futuro respecto a sus competidores.

CAPÍTULO TERCERO
ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

CAPÍTULO TERCERO

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

Con el propósito de obtener un punto de vista claro de lo que se presenta en este capítulo, lo organizamos de la siguiente manera: primero aparece una pequeña descripción del lugar que nos sirvió como base para el trabajo de tesis, después hablamos de los polietilenos, presentándose las propiedades y aplicaciones, en general, de los dos tipos de polietilenos (baja densidad y alta densidad) y dentro de ellas se presentan los usos y especificaciones de los diferentes grados comerciales (o químicos) que existen en cada división y que en conjunto forman el grupo de PEBD o PEAD. Después daremos paso al aspecto técnico para la producción de los polietilenos en sus diferentes grados.

Para iniciar la investigación, y el desarrollo de la misma, era necesario evocarnos a un ejemplo real el cual nos ofreciera versatilidad en el proceso y que, de preferencia, produjera los dos tipos de polietileno y sólo una petroquímica reunía el perfil requerido: Petroquímica Escolín, S.A. de C.V. A continuación daremos una pequeña reseña de esta unidad filial de Pemex Petroquímica.

3.1 DESCRIPCIÓN DE PETROQUÍMICA ESCOLÍN, S.A. DE C.V.

El Complejo Petroquímico Escolín, S.A. de C.V., se localiza en la parte norte del estado de Veracruz, a 4 Km. de la ciudad de Poza Rica a un costado de la carretera a Palma Sola, ocupa un área de aproximadamente 67 Has. Y junto con el complejo Procesador de Gas Poza Rica, son la enclaves industriales más importantes de la región norte del Estado. La ubicación geográfica facilita la salida de sus productos hacia los litorales del Golfo de México y el Océano Pacífico, tanto para cabotaje como para exportación.

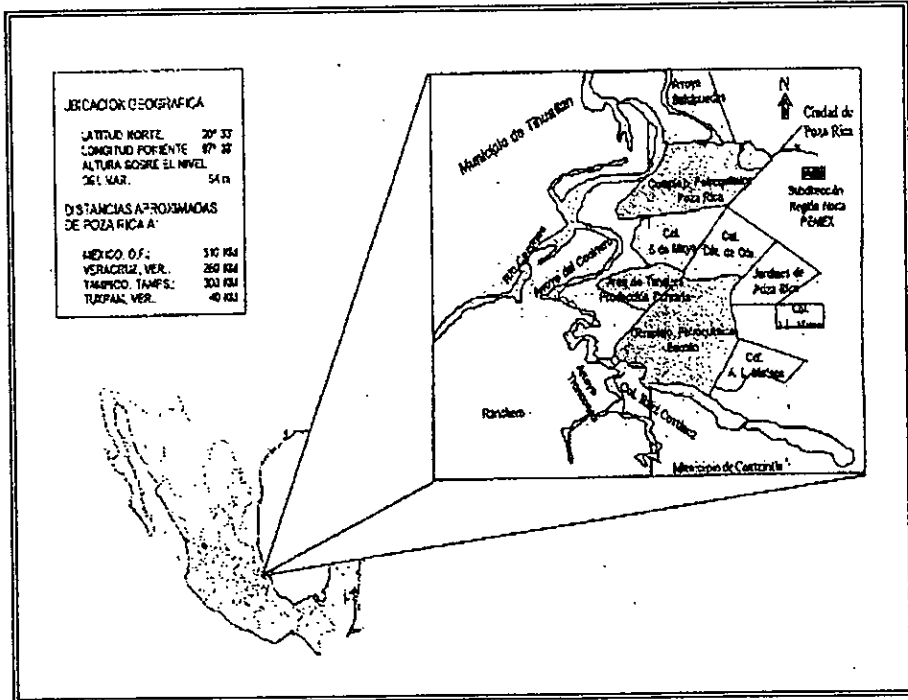


Figura 3.1. Ubicación de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.
Fuente: (10) Petroquímica Escolín, S.A. de C.V. (folleto informativo)

Las plantas que la integran son:

- a) Etileno
- b) Polietileno de Alta Densidad
- c) Silos de Polietileno de Alta Densidad
- d) Polietileno de Baja Densidad
- e) Silos de Polietileno de Baja Densidad
- f) Servicios Auxiliares

Como apoyo se cuenta con las áreas Administrativas y de Mantenimiento.

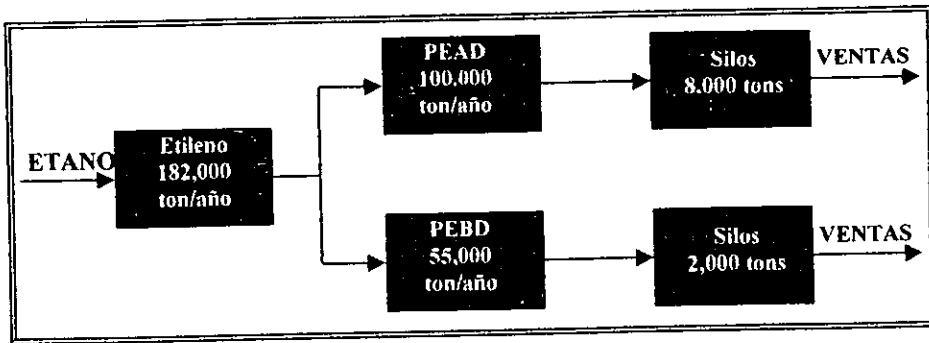


Figura 3.2. Diagrama de bloques de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.
Fuente: (10) Petroquímica Escolín, S.A. de C.V. (folleto informativo)

La materia prima, Etano, y otros servicios se suministran desde el C.P.G. Poza Ricas a través de ductos.

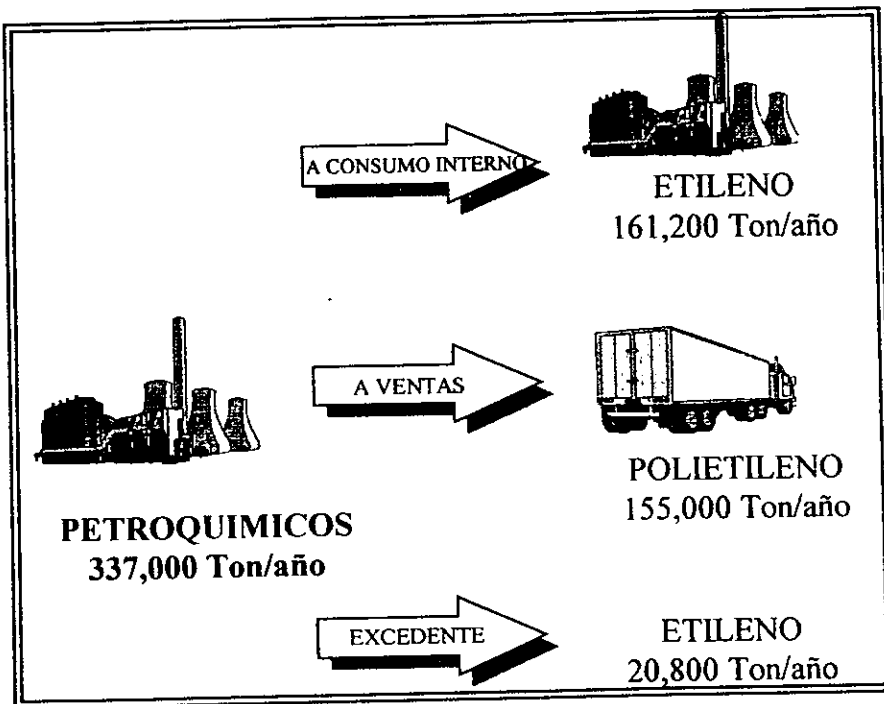


Figura 3.3. Esquema productivo de Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.
Fuente: (10) Petroquímica Escolín, S.A. de C.V. (folleto informativo)

Este Complejo Petroquímico tuvo su origen en 1971 con la puesta en operación de la planta de Polietileno de Baja Densidad, construyéndose al mismo tiempo la terminal marítima de Etileno de Cobos, Veracruz, frente a el puerto de Tuxpan, Veracruz y un etileno ducto para transportar el Etileno procedente del C.P. Pajaritos. (Actualmente la Terminal de Etileno Cobos, Ver., se encuentra fuera de operación).

En 1978, con la puesta en operación de las plantas de Etileno, Polietileno de Alta Densidad y Servicios Auxiliares, e integración de las mismas, se conformó lo que actualmente es el Complejo Petroquímico Escolín.

De la misma manera se le dotó de un laboratorio de control químico, que posee el equipo más moderno para llevar a cabo el estricto control de calidad que se requiere en las plantas y poder obtener el máximo de producción de primera calidad.

Las plantas que lo integran son (figura 3.3):

PLANTA	CAPACIDAD NOMINAL (Tons/año)
Etileno	182,000
Polietileno de Alta Densidad	100,000
Polietileno de Baja Densidad	55,000

En Petroquímica Escolín se cuenta con unidades de almacenamiento para los productos terminados y para las materias primas con una capacidad total de almacenamiento de 14,421 toneladas.

Esta empresa también es autogeneradora de energía eléctrica, con una producción de 36 MW, vendiendo el 30 % de su producción a CFE.

3.2 ANÁLISIS POR TIPO DE PLÁSTICO.

Como cualquier otro polímero, este material ha sufrido modificaciones y ampliaciones en su uso debido a los nuevos grados comerciales. La clasificación utilizada en la industria se basa en la densidad, y partiendo de ésta, se hará el análisis para cada tipo de Polietileno.

Pero, ¿que diferencias existen entre PEBD y PEAD?. El PEBD es más flexible y tiene mejor claridad; el PEAD tiene cadenas de carbono lineales y el PEBD posee cadenas de carbono ramificadas; el PEAD es más fuerte y menos permeable a los gases. Esto parece tener relación con la densidad, pero también tiene que ver con el peso molecular, las ramificaciones y la cristalinidad, como se vió en el capítulo anterior.

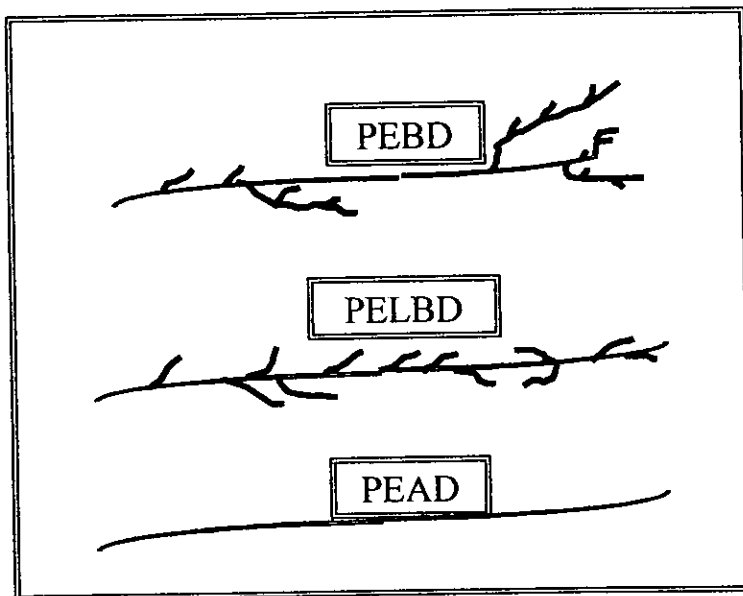


Figura 3.4. Ramificaciones de los polietilenos
Fuente: (1) Análisis de las cadenas productivas de las olefinas Etileno - Propileno - Butadieno.

Irónicamente, el proceso de alta presión produce un producto de baja densidad; los procesos de baja o media presión producen un material de alta densidad. Aunque todo esto puede parecer opuesto, no lo es; todo tiene que ver con las ramificaciones y la cristalinidad. La alta presión produce moléculas menos cristalinas. A menor cristalinidad, menor densidad.

Tanto la densidad como el índice de fluidez hacen a los diferentes tipos de polímero, siendo los principales los que se muestran a continuación. Como puede observarse, las primeras dos cifras del tipo de polímero se refieren a la densidad y las últimas tres al índice de fluidez. A continuación daremos un ejemplo.

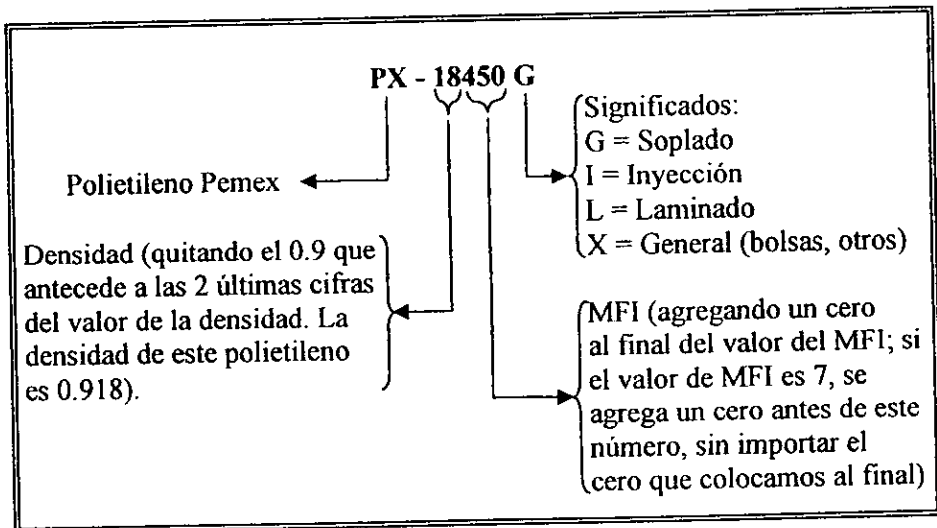


Figura 3.5. Estructura de nombre del polietileno
 En base a información proporcionada por Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.

Con respecto a la densidad y el MFI, se considera el promedio dentro de un rango previamente establecido (Figura 3.5). En el caso del PEAD, en

ocasiones aparece como PADMEX que significa Polietileno de Alta Densidad de Pemex, siendo esto equivalente a las siglas PX que anteriormente explicamos.

3.2.1 *POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PEBD O LDPE)*

a) Propiedades

El Polietileno de Baja Densidad, tiene una densidad en el rango de 0.910 - 0.940 g/cm³, en función de la estructura molecular del polímero. El PEBD tiene una estructura en su mayor parte amorfa.

Es un material translúcido, inodoro, su punto de fusión varía dependiendo del grado de la resina, como promedio en 110°C. Tiene una conductividad térmica baja, como la mayoría de los materiales termoplásticos.

Las propiedades mecánicas del Polietileno de Baja Densidad, dependen del grado de polimerización y la configuración molecular, es decir, cuanto más elevado sea el peso molecular mejores serán las propiedades.

En este sentido, los productos fabricados con PEBD mantienen buenas propiedades hasta los 60°C, gracias a su temperatura de ablandamiento (80 a 100°C).

Debido a la baja conductividad eléctrica, el PE se ha convertido en un aislante de primera, tanto en alta como en baja tensión.

La naturaleza no polar del PE le confiere gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. A temperaturas menores de 60°C resiste a la mayoría de los solventes, ácidos, bases y sales en cualquier concentración. Por otro lado, a temperaturas superiores es soluble en solventes orgánicos alifáticos, y especialmente en los aromáticos y clorados. Es totalmente atóxico (pero sí es

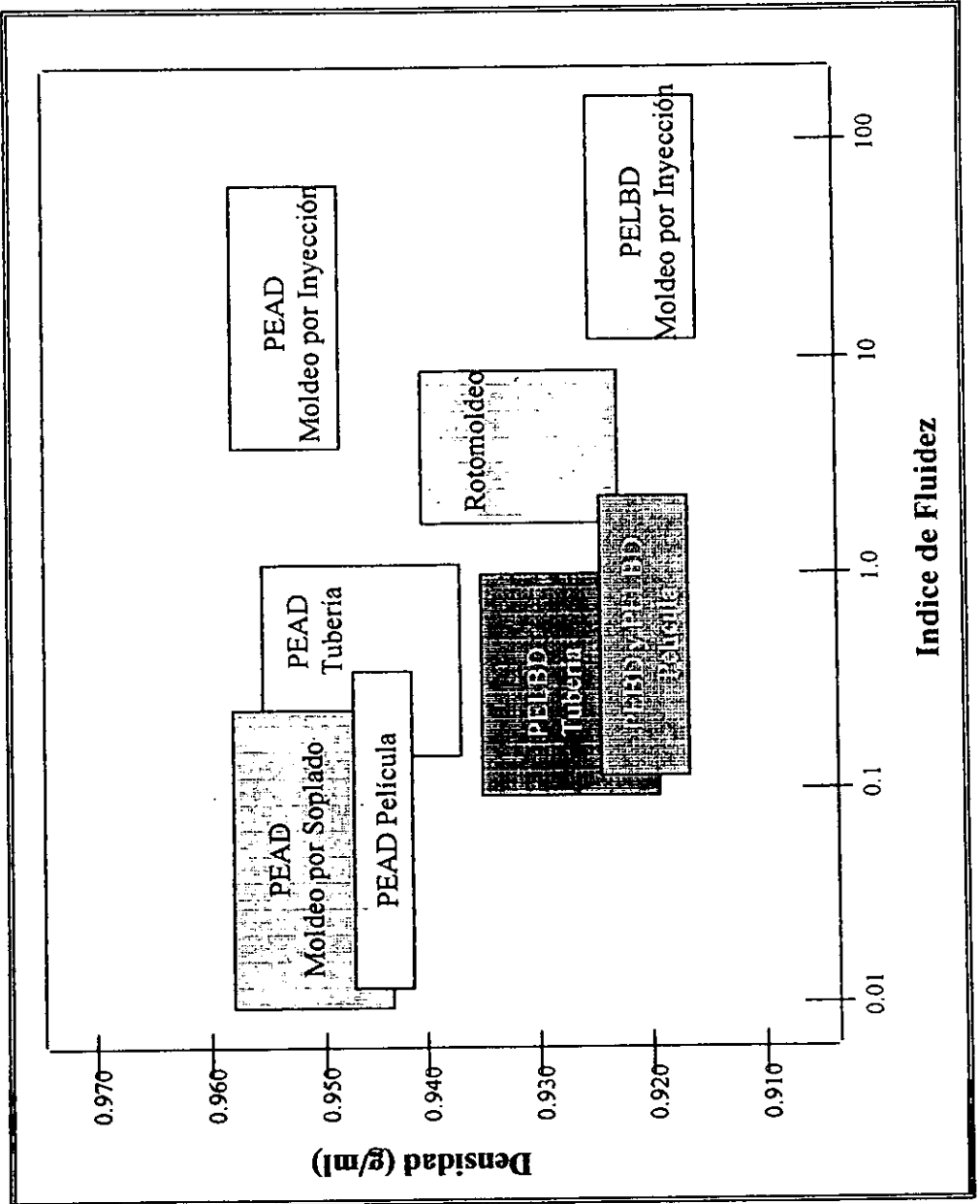


Figura 3.6 Densidad vs. Índice de fluidiez

combustible), impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases, puede estar en contacto directo con alimentos sin presentar riesgo para los consumidores, cumpliendo con normas FDA (Food and Drugs Administration).

b) Aplicaciones

El PEBD tiene aplicación dentro del sector de envase y empaque, destacando su utilización en bolsas, botellas, envase industrial, laminaciones, películas para forro, película encogible, recubrimientos, sacos y costales, tapas para botellas y otros.

En la construcción se puede encontrar en tubería (conduit), en agricultura como película para invernadero y tubería de riego.

En la industria eléctrico-electrónica se utiliza como aislante para cables y conductores, cables de alta frecuencia, material dieléctrico, juguetes pequeños y otros productos.

c) Grados químicos¹

- Usos (figura 3.7)

Polietileno baja densidad para película (PX-20020-X), (PX-20020-G), (PX-20020-G1)

Película para empaque de buena transparencia y laminación que permite envasar productos de peso moderado, que requieren excelente presentación; también puede emplearse para envasar comestibles.

¹ Fuente: (11) Productos elaborados por Petróleos Mexicanos. Manual de propiedades.

Polietileno baja densidad para película (PX-20020-P)

Película para empaque de buena transparencia; laminación. Puede ser usada para empaques de productos como: mercancías suaves, juguetes y envases comestibles.

Polietileno baja densidad para inyección (PX-18450-G)

Moldeo por inyección en moldes de cavidades complicadas. Recubrimiento de cable para antena, tapas de botella, artículos decorativos en plantas y flores artificiales.

Polietileno baja densidad para inyección (PX-21200-I)

Moldeo por inyección, se recomienda para artículos y productos para el hogar; también se puede aplicar en la fabricación de artículos de envase y protección de comestibles, perfumes y cosméticos

Polietileno baja densidad para inyección (PX-17070-L)

Laminación y moldeo por inyección, por su excelente adhesión a cualquier sustrato es adecuado en la elaboración de empaques para alimentos donde esta propiedad y ausencia total de olor son necesarios; también se puede aplicar a la fabricación de artículos del hogar con buen brillo superficial.

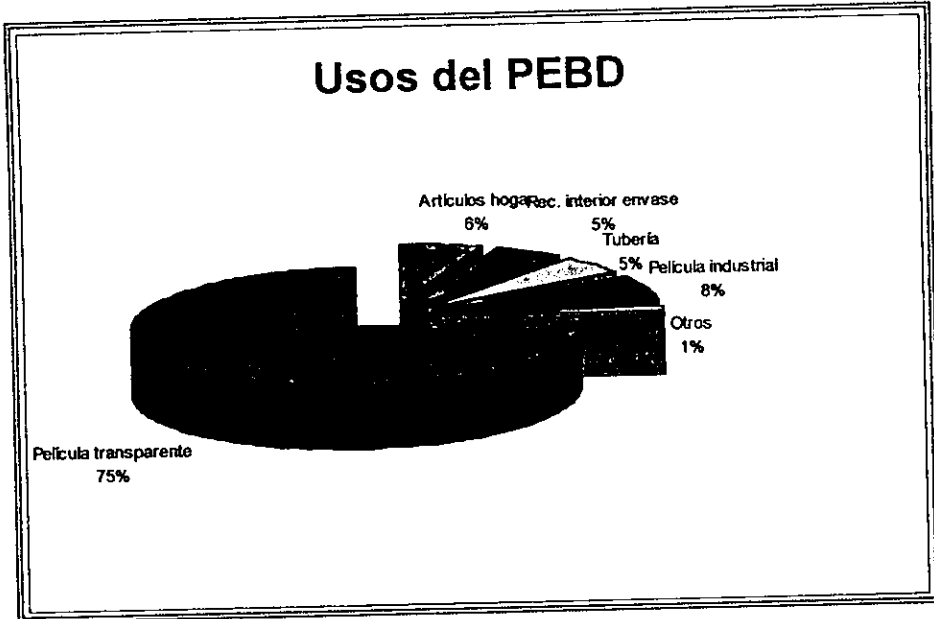


Figura 3.7. Usos del PEBD.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol. II

• Especificaciones ²

PEBD: extrusión; película uso general (PX-20020-X)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9195 - 0.9220
Índice de fluidez (g / 10 min.)	1.70 - 2.40
Color	A
Corte	A

² Al final se presentan 3 grados comerciales más que no se mencionaron en la parte de usos por no contar con la información pertinente.

Contaminación	A
Película	A
Nebulosidad (%) ³	5
Claridad ³	22
Brillo ³	70
Resistencia al impacto (g) ³	150
Observaciones	No lleva aditivos incorporados

PEBD: moldeo por inyección (PX-21200-I)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9200 - 0.9220
Indice de fluidez (g / 10 min.)	17.0 - 25.0
Color	A
Corte	A
Contaminación	A

PEBD: extrusión; película uso general (PX-20020-P)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9195 - 0.9230
Indice de fluidez (g / 10 min.)	1.7 - 2.4
Color	A
Corte	A
Contaminación	A
Película	A
Nebulosidad (%) ³	6
Claridad ³	22
Brillo ³	70
Resistencia al impacto (g) ³	150

³ En película de 0.0038 cm de espesor (1.5 milésimas de pulgada).

Antioxidante	Contiene
Antibloqueo	Contiene
Deslizante	Contiene
Observaciones	También lleva aditivos y antiestáticos.

PEBD: laminación, moldeo para inyección (PX-17070-L)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9170 - 0.9190
Indice de fluidez (g / 10 min.)	6.0 - 8.0
Color	A
Corte	A
Contaminación	A
Película	A
Observaciones	Excelente adhesión a cualquier substrato

PEBD: moldeo por inyección (PX-18450-G)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9180 - 0.9210
Indice de fluidez (g / 10 min.)	40.0 - 50.0
Color	A
Corte	A
Contaminación	A

PEBD: extrusión; inyección y soplado (PX-20020-G)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9195 - 0.9230
Indice de fluidez (g / 10 min.)	1.70 - 2.40

Color	A
Corte	A
Contaminación	A
Película	T

PEBD: moldeo por inyección y extrusión (PX-20020-G1)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9195 - 0.9230
Indice de fluidez (g / 10 min.)	1.70 - 2.40
Color	A
Corte	A
Contaminación	A
Película	A
Nebulosidad (%)	> 9.5

PEBD (PX-22004)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9220
Indice de fluidez (g / 10 min.)	0.40
Resistencia al impacto (g) ^v	850
Alargamiento	
Longitudinal	900
Transversal	1100
Aplicaciones	Fabricación de sacos para uso industrial, moldeo por soplado, perfiles y tubería.

^v En película de 0.2 mm (8 milésimas de pulgada) de espesor.

PEBD (PX-22007)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9220
Indice de fluidez (g / 10 min.)	0.70
Alargamiento	
Longitudinal	600
Transversal	700
Aplicaciones	Fabricación de sacos para uso industrial, moldeo por soplado.

PEBD (Polietileno PX- Concentrado-P; Resina base)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.92
Indice de fluidez (g / 10 min.)	2.0
Aplicaciones	Aditivo en la extrusión de película de alta claridad.
Observaciones	Resina de polietileno con alto contenido de agentes deslizantes, antioxidantes, antibloqueo y antiestáticos.

3.2.2 POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD o HDPE)

a) Propiedades.

El polietileno de alta densidad (PEAD) tiene una densidad en el rango de 0.951 - 0.970 g/cm³; presenta un alto grado de cristalinidad siendo así un material opaco y de aspecto ceroso, las propiedades de cristalinidad y mayor densidad se relacionan con las moléculas más empacadas, ya que casi no existen ramificaciones.

La rigidez, dureza y resistencia a la tensión de los polietilenos se incrementa con la densidad, el PEAD presenta mejores propiedades mecánicas que el PEBD y el PELBD, también presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión.

El calor necesario para llegar al punto de fusión está relacionado con la cristalinidad. El polietileno de alta densidad muestra un punto de fusión entre 120 y 136°C, mayor al del PEBD.

Por su naturaleza no polar es como una gran molécula de hidrocarburo parafínico. El PEAD tiene excepcional resistencia a sustancias químicas y otros medios. No es atacado por soluciones acuosas, salinas, ácidos y álcalis. La solubilidad del polietileno en hidrocarburos alifáticos, aromáticos y clorados depende de la cristalinidad pero a temperaturas elevadas el PEAD es soluble en éstos.

No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos.

No es tóxico, pero sí es combustible (al igual que el PEBD).

b) Aplicaciones.

El polietileno de alta densidad cuenta con un número variado de aplicaciones; en el sector de envase y empaque se utiliza en bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurth, cajas para transporte de botellas, envases para productos químicos, envases para jardinería, detergentes y limpiadores, frascos para productos cosméticos y capilares, recubrimientos de sobres para correo, sacos para combustibles, etc. en la industria eléctrica se usa como aislante de cable y alambre, para conexiones y cuerpos de bobina.

En el sector automotriz se usa en recipientes para aceite y gasolina, conexiones y tanques para agua, además de tubos y mangueras.

Otros usos son: artículos de cordelería, bandejas, botes de basura, cubetas, platos, redes para pesca, regaderas para aceites minerales y agua, tejidos técnicos y tapicerías, tinas de baño para bebé, en juguetes, etc.

c) Grados químicos³.

- Usos (figura 3.8)

Polietileno alta densidad por soplado (PADMEX-50003)

Moldeo por soplado en envases con alta resistencia a la fractura, a los esfuerzos ambientales internos y externos (stress cracking). Envases de tipo alimenticio, detergentes, recipientes para líquidos en dimensiones intermedias, envases de productos químicos y juguetería en general.

³ Fuente: (11) Productos elaborados por Petróleos Mexicanos. Manual de propiedades.

Polietileno alta densidad por extrusión (PADMEX-55010)

Moldeo por extrusión para la elaboración de cintilla, cordeles, rafia y monofilamentos.

Polietileno alta densidad por soplado (PADMEX-60003)

Moldeo por soplado, adecuado para la fabricación de botella de uso general y recipientes de mayor tamaño para usos industriales.

Polietileno alta densidad por inyección (PADMEX-60120)

Moldeo por inyección, adecuado para la fabricación de productos y artículos para el hogar, juguetes en general.

Polietileno alta densidad por inyección (PADMEX-65050)

Moldeo por inyección a productos que requieren mayor resistencia mecánica, para la fabricación de tapas roscadas y cajas para transporte de artículos en general, así como cajas para botellas, recipientes industriales, tarimas, etc.

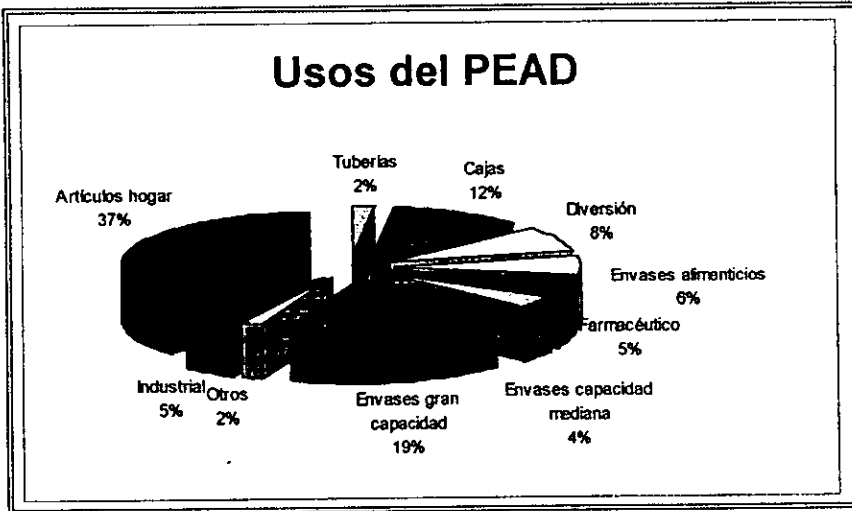


Figura 3.8. Usos del PEAD.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol. II

• Especificaciones ⁴

PEAD: moldeo por soplado (PADMEX-50003)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9580 - 0.9640
Índice de fluidez (g / 10 min.)	0.19 - 0.35
Corte (Inspección de Pelets)	A/B
Contaminación	A/B
Color	A/B
Antioxidante Primario	Contiene
Antioxidante Secundario	Contiene

⁴ Al final se presentan 3 grados comerciales más que no se mencionaron en la parte de usos por no contar con la información pertinente.

Antiácido/Lubricante	Contiene
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	-
Elongación al punto de ruptura (%)	800
Módulo de flexión (kg / cm ²)	11,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	20
Dureza Shore (D)	65
Punto de ablandamiento (°C)	124
Temperatura de fragilidad (°C)	- 70

PEAD: moldeo por extrusión y monofilamento (PADMEX-55010)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9510 - 0.9550
Indice de fluidez (g / 10 min.)	0.7 - 1.0
Corte (Inspección de Pelets)	A/B
Contaminación	A/B
Color	A/B
Antioxidante Primario	Contiene
Antioxidante Secundario	Contiene
Antiácido/Lubricante	Contiene
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	250
Elongación al punto de ruptura (%)	1000
Módulo de flexión (kg / cm ²)	10,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	25
Dureza Shore (D)	66
Punto de ablandamiento (°C)	122
Temperatura de fragilidad (°C)	- 70

PEAD: moldeo por soplado (PADMEX-60003)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9580 - 0.9640
Indice de fluidez (g / 10 min.)	0.19 - 0.34
Corte (Inspección de Pelets)	A/B

Contaminación	A/B
Color	A/B
Antioxidante Primario	Contiene
Antioxidante Secundario	Contiene
Antiácido/Lubricante	Contiene
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	290
Elongación al punto de ruptura (%)	900
Módulo de flexión (kg / cm ²)	15,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	25
Dureza Shore (D)	70
Punto de ablandamiento (°C)	128
Temperatura de fragilidad (°C)	70

PEAD: moldeo por inyección (PADMEX-60120)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9585 - 0.9645
Índice de fluidez (g / 10 min.)	10.0 - 14.0
Corte (Inspección de Pelets)	A/B
Contaminación	A/B
Color	A/B
Antioxidante Primario	Contiene
Antioxidante Secundario	Contiene
Antiácido/Lubricante	Contiene
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	300
Elongación al punto de ruptura (%)	700
Módulo de flexión (kg / cm ²)	16,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	7
Dureza Shore (D)	72
Punto de ablandamiento (°C)	128
Temperatura de fragilidad (°C)	- 70

PEAD: moldeo por inyección (PADMEX-65050)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.9635 - 0.9695
Indice de fluidez (g / 10 min.)	4.0 - 6.0
Corte (Inspección de Pelets)	A/B
Contaminación	A/B
Color	A/B
Antioxidante Primario	Contiene
Antioxidante Secundario	Contiene
Aditivo Ultravioleta	Contiene
Antiácido/Lubricante	Contiene
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	310
Elongación al punto de ruptura (%)	900
Módulo de flexión (kg / cm ²)	17,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	10
Dureza Shore (D)	72
Punto de ablandamiento (°C)	128
Temperatura de fragilidad (°C)	70

PEAD: Moldeo por inyección (PADMEX-55070)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.955
Indice de fluidez (g / 10 min.)	7
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	260
Elongación al punto de ruptura (%)	1,000
Módulo de flexión (kg / cm ²)	12,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	10
Dureza Shore (D)	66
Punto de ablandamiento (°C)	122
Temperatura de fragilidad (°C)	- 70

PEAD: Moldeo por inyección (PADMEX-70050)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.97
Índice de fluidez (g / 10 min.)	5
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	330
Elongación al punto de ruptura (%)	900
Módulo de flexión (kg / cm ²)	19,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	10
Dureza Shore (D)	74
Punto de ablandamiento (°C)	130
Temperatura de fragilidad (°C)	- 70

PEAD: Moldeo por extrusión - soplado (PADMEX-55007)

Parámetro

Densidad (g / cm ³)	0.955
Índice de fluidez (g / 10 min.)	0.7
Resistencia a la tensión en el punto de cedencia (kg / cm ²)	270
Elongación al punto de ruptura (%)	1,000
Módulo de flexión (kg / cm ²)	11,000
Resistencia al impacto (kg * cm / cm)	15
Dureza Shore (D)	67
Punto de ablandamiento (°C)	125
Temperatura de fragilidad (°C)	70

3.3 CONDICIONES DE PROCESO

Ya habiendo estudiado las diferencias técnicas entre los tipos de polietileno, PEAD y PEBD, analizaremos las condiciones de proceso para la producción de cada uno de ellos.

3.3.1 *Planta de polietileno de baja densidad.*

La planta de polietileno de baja densidad está formada de cuatro secciones:

1. Sección de compresión de etileno.
2. Sección de reacción del etileno.
3. Sección de separación del etileno – polietileno.
4. Extrusión del polietileno.

El reactor es un recipiente de una capacidad de 250 litros y cuenta con un agitador el cual está totalmente dentro del reactor, y cuatro entradas laterales por las cuales se alimenta el etileno y el catalizador para producir el polietileno; el reactor opera en forma continua en un rango de 1,150 – 1,550 Kg/cm² dependiendo del tipo de polímero que se produzca y una temperatura de 180 – 270 °C. La cantidad de polietileno a producir se controla con la cantidad de catalizador alimentado a control de temperatura. Los parámetros de MFI y densidad se controlan de la siguiente forma:

Si el MFI tiende a incrementarse es necesario bajar la presión o viceversa. Si la densidad se incrementa se baja la temperatura o se incrementa la presión.

Para el control de reactor existen instrucciones operativas bien definidas, tales como:

DPEBD-01-039	Control de la densidad
DPEBD-01-022	Control del MFI
DPEBD-01-033	Arranque de la planta
DPEBD-01-020	Inyección de catalizador "25OTB"
DPEBD-01-021	Inyección de catalizador "1ON5"
DPEBD-01-032	Inyección de catalizador "1BTB25"

Materias primas de catalizadores.

Catalizador "1ON5"	Peróxido de decanoilo
Catalizador "25OTB"	Peróxido de diterbutilo
Catalizador "1BTB25"	Perbenzoato de diterbutilo

Los catalizadores "1ON5" y "25OTB" se usan diluïdos en Nafta y TecnoI; el catalizador "1BTB25" se diluye con Nafta e Indopol.

Catalizador "1ON5"	Concentración de 2.0 a 5.0 % peso
Catalizador "25OTB"	Concentración de 25 % peso
Catalizador "1BTB25"	Concentración de 2.5 a 5.0 % peso

En la planta de polietileno de baja densidad no se tiene presencia de hidrógeno por lo cual no hay forma de que pueda afectar; la presión afecta a los parámetros MFI y densidad del polietileno producido. Si se incrementa la presión en el reactor, el MFI y la densidad aumentan; si la temperatura se incrementa en el reactor, el MFI aumenta y la densidad disminuye.

3.2.2 *Planta de polietileno de alta densidad*

La planta de Polietileno de Alta Densidad esta formada de ocho secciones.

1. Hidrogenadora de Hexano
2. Preparación de Catalizadores
3. Polimerización del Etileno
4. Tratamiento del Polietileno
5. Separación y Secado
6. Recuperación de Solventes
7. Extrusión
8. Purificación de Hidrógeno, Planta de Nitrógeno y Refrigeración

El reactor es un recipiente de 120 m³ de capacidad, el cual opera a un nivel de 78 m³ en forma continua, se le alimenta Etileno a de control de presión, Hexano para liberar calor de la reacción y para transporte del Polietileno, catalizadores, Hidrógeno y un Comonomero (Propileno ó 1-Buteno). La reacción se lleva acabo en fase líquida a una presión de 10.0 Kg/cm² y una temperatura de 83 °C. La cantidad de Polietileno a producir se controla con el catalizador alimentado al reactor. El MFI se controla con el Hidrógeno y la densidad con el comonomero. En los Polietilenos de PEAD se produce un homopolímero (PADMEX 60003) que no lleva comonomero y la densidad la determina el catalizador. El Polietileno producido más el hexano alimentado y el catalizador son trasegados del reactor a control de nivel a un agotador donde se termina la reacción de polimerización.

En la reacción de polimerización en PEAD al incrementarse la presión disminuye el MFI del producto y descontrola la producción del Polietileno. La concentración del Hidrógeno en el reactor al incrementarse incrementa el MFI e inhibe la reacción de polimerización.

En la planta de Polietileno de Alta Densidad existen instrucciones operativas para el control del reactor :

DPEAD-01-001	Arranque de la Planta
DPEAD-01-035	Alimentación de catalizadores
DPEAD-01-041	Control de MFI
DPEAD-01-043	Control de la densidad

Materias primas de catalizadores.

3CA1	Tricloruro de Aluminio
2CEA1	Dicloruro de Etil-Aluminio
3IBA1	Tri-isobutil Aluminio
SCEA1	Sesquicloruro de Etil Aluminio
MMHS	Polimétil Hidrosiloxano
4CT1	Tetracloruro de Titanio
4NBT1	Tetra n-Butil Titanato
M1	Magnesio
CNB	Cloruro de n-Butilo
NB	n-Butanol

Preparación de catalizadores en PEAD.

SCEA1	+	2CEA1	=	AL
4CT1	+	MMHS	=	Ti
4CT1	+	MMHS	=	6KM
6KM	+	SCEA1	=	2Ti
M1	+	CNB	=	12RM
12RM	+	3CA1	=	10HM
10HM	+	NB	=	81HM
81HM	+	4CT1	=	TUA
TUA	+	2CEA1	=	TUC

Los catalizadores se usan diluidos con las siguientes concentraciones diluidas en Hexano:

Ti	Concentración 0.3 mol/lit. de Titanio
AL	Concentración 0.8 mol/lit. de Aluminio
2Ti	Concentración 30 gr./lit. de Titanio

Catalizadores de segunda generación de Asahi Chemical Industry Co., LTD

1AC	Concentración 0.25 mol/lit. de Aluminio
4AC	Concentración 0.25 mol/lit. de Aluminio
TUA	Concentración 3 gr./lit. de Titanio
TUC	Concentración 3 gr./lit. de Titanio

En el siguiente cuadro se muestran las condiciones de proceso necesarias para la obtención de los tipos de polietileno que Petroquímica Escolín puede producir.

Poliétileno de Baja Densidad

Grado químico	MFI g/10min.	Densidad g/ml	Presión de Op. Kg/cm ²	Temp. De Op. °C	Catalizador	
					10N5	250TB 1BTB25
PX-20020-X	1.7 - 2.4	0.9195 - 0.9220	1150 - 1350	180 - 270	☐	☐
PX-22004	0.35 - 0.45	0.9210 - 0.9230	1330 - 1550	180 - 270	☐	☐
PX-17070-L	8.0 - 8.0	0.9170 - 0.9190	1250 - 1450	238 - 265		☐
PX-21200-I	17.0 - 25.0	0.9200 - 0.9220	1150 - 1350	180 - 275	☐	☐
PX-18450-G	40.0 - 50.0	0.9180 - 0.9210	1150 - 1300	180 - 275	☐	☐

Poliétileno de Alta Densidad

Grado químico	MFI g/10min.	Densidad g/ml	Presión de Op. Kg/cm ²	Temp. De Op. °C	Catalizador				
					3CA1	TUA	3IBA1	TUC	11TK
PADMEX 65050	4.0 - 6.0	0.9635 - 0.9695	10	83	☐				
PADMEX 60120	10.0 - 14.0	0.9585 - 0.9645	10	83				☐	
PADMEX 55010	0.7 - 1.0	0.9510 - 0.9550	10	83		☐			
PADMEX 60003	0.19 - 0.34	0.9580 - 0.9640	10	83					☐
PADMEX 50003	0.19 - 0.35	0.9510 - 0.9570	10	83					☐

Cuadro 3.1

En base a información proporcionada por Petroquímica Escolin, S.A. de C.V.

SEGUNDA SECCIÓN

CAPÍTULO CUARTO
MATERIAS PRIMAS DE LAS OLEFINAS

CAPÍTULO CUARTO

MATERIAS PRIMAS DE LAS OLEFINAS

En México y en gran parte de Estados Unidos, la producción de olefinas se realiza a partir de gas natural, recurso con el que cuentan ambos países.

A nivel mundial existen diversas materias primas para la obtención de estos productos, como son los principales componentes del gas natural (etano, propano, butano), la nafta, el combustóleo y otras fracciones provenientes de la destilación primaria del petróleo; en todos los casos, el producto principal es el etileno, obteniéndose otras olefinas como subproductos.

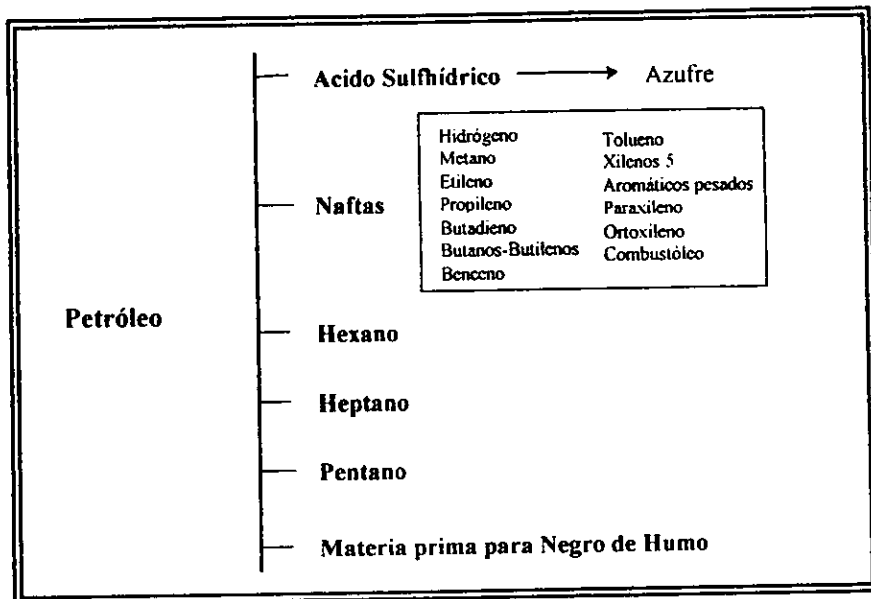


Figura 4.1. Productos de la destilación del petróleo.

Fuente: (8) Petroleum refining for the non-technical person

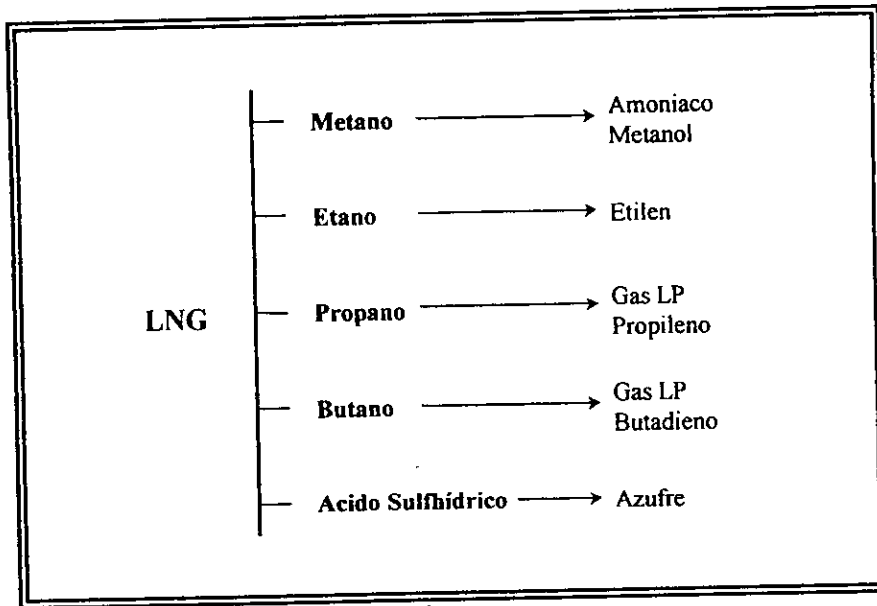


Figura 4.2. Productos del gas natural.

Fuente: (8) Petroleum refining for the non-technical person

En el cuadro 4.1 se resumen los diferentes rendimientos y materias primas utilizadas mundialmente en la producción de olefinas; aunque cabe destacar que las dos rutas tecnológicas que predominan son las basadas en la nafta y en el gas natural.

En materia petroquímica, los mercados más importantes a nivel mundial son los Estados Unidos, Europa Occidental y Japón, existiendo una clara diferencia en la materia prima empleada para la producción de olefinas. Así, los fabricantes norteamericanos consumen fundamentalmente gas natural, mientras que en Europa y Japón se utiliza la nafta.

Por otra parte, conviene mencionar que existe una tendencia internacional a fabricar olefinas a partir de gas natural, debido a que se estima que a mediano plazo prevalecerá la actual oferta de esa materia prima.

SUBPRODUCTO	ETANO 2	PROPANO 2'	BUTANO 3	NAFTA 4	GASOLEO 4 ATMOSFÉRICO	GASOLEO 4 DE VACÍO
Propileno	30	500	400	500	550	600
Butadieno	20	50	90	150	170	170
Otros C4s	10	30	170	250	180	180
Gasolina de pirólisis	20	150	180	750	700	650
Benceno	10	50	60	150	230	240
Tolueno	-	-	30	100	120	120
C8s	-	-	10	70	80	70
Otros	10	100	80	430	270	22
Combustóleo	-	20	40	100	700	1,250
Otros 5/	170	650	620	450	500	450
Materia prima requerida	1,250	2,400	2,500	3,200	3,800	4,300
Rendimiento de etileno	80%	42%	38%	31%	26%	23%

Cuadro 4.1. Materias primas empleadas en la producción de olefinas en base a 1 Ton. de etileno (Kilogramos) 1/.

Fuente: (1) Análisis de las cadenas productivas de las olefinas Etileno-Propileno-Butadieno

1/ Pueden existir grandes variaciones en el rendimiento dependiendo de la severidad de las condiciones de operación y de la calidad de la materia prima.

2/ Obtenido de gas natural.

3/ Obtenido de gas natural y petróleo crudo.

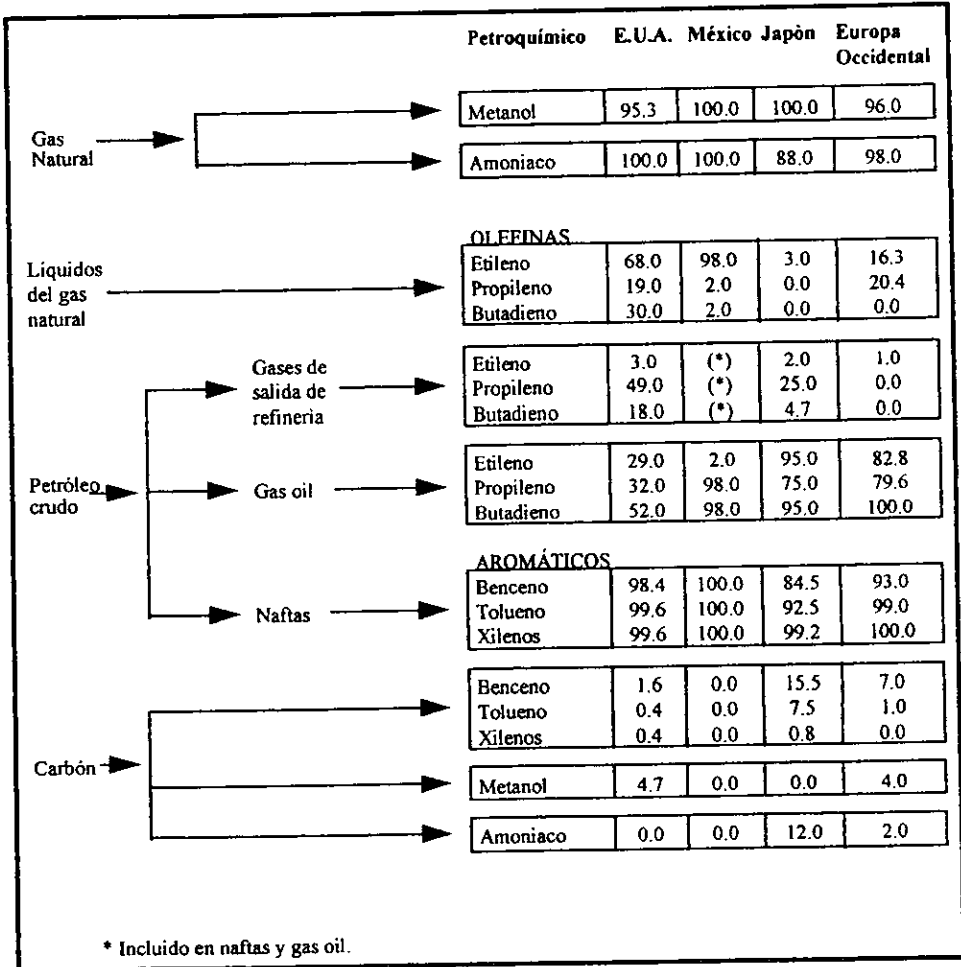
4/ Obtenido de petróleo crudo.

5/ Principalmente hidrógeno y metano.

4.1 DISPONIBILIDAD NACIONAL DE MATERIAS PRIMAS PARA OLEFINAS.

A nivel mundial, los petroquímicos iniciadores de cadena provienen, en promedio, en un 81.3% del petróleo crudo, en un 18.3% del gas natural y en un 0.4% del carbón. Estas proporciones varían para cada país en función de diversos factores técnicos y económicos, de modo tal que en el cuadro 4.2 es posible corroborar que Europa y Japón parten de naftas para la producción de olefinas, en tanto que Estados Unidos y México lo hacen a partir del gas natural.

En nuestro país se fabrica mayoritariamente por deshidrogenación de etano, el cual es obtenido mediante los procesos de fraccionamiento criogénico de corrientes gaseosas.



Cuadro 4.2. Origen de los petroquímicos por fuente de materias primas (porcentaje)
Fuente: (1) Análisis de las cadenas productivas de las olefinas Etileno-Propileno-Butadieno

En la figura 4.3 se presenta el origen de los iniciadores petroquímicos, donde es posible identificar las diversas posibilidades de producción de un producto que ha dado lugar al desarrollo de rutas tecnológicas alternas.

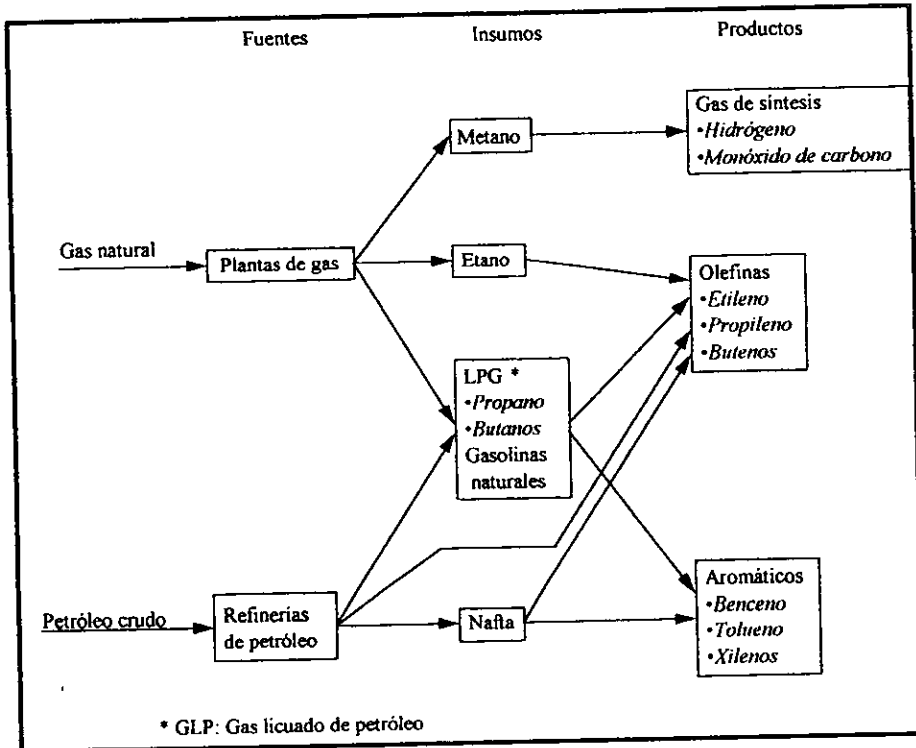


Figura 4.3. Insumos para la petroquímica.

Fuente: (12) Programa de desarrollo de la industria petroquímica mexicana 1997-2000. Diagnóstico y lineamientos.

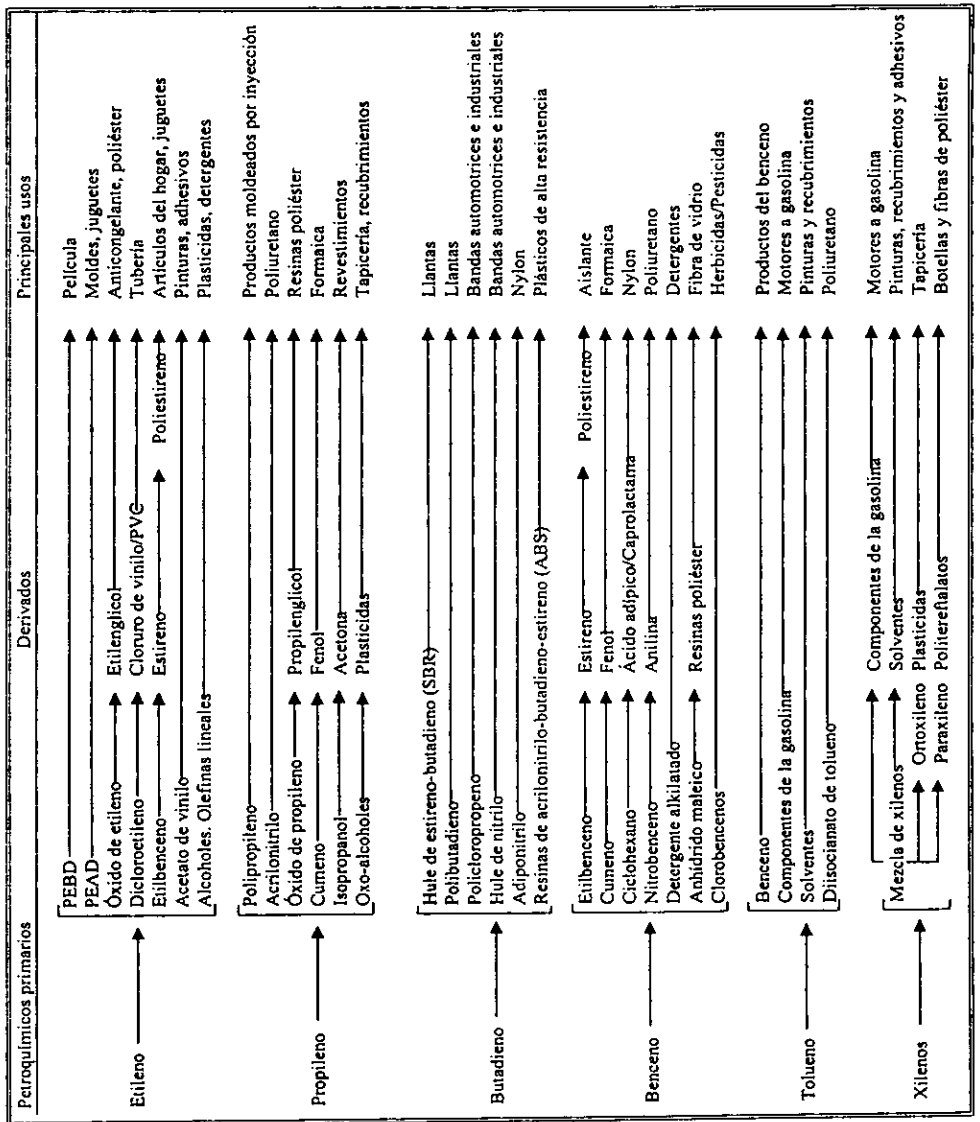


Figura 4.4. Cadenas productivas de los petroquímicos primarios.

Fuente: (Petrochemicals in nontechnical language)

Análisis de la situación del polietileno. Caso petroquímica en México

4.2 CADENA PRODUCTIVA DEL ETILENO.

A semejanza de como ocurre en México, el etileno es el petroquímico de mayor importancia a nivel mundial, tanto por su volumen de ventas, como por el número de productos que de él se derivan; además, si se integra la elaboración de etileno a la producción de derivados de alto valor y creciente demanda como son los polietilenos y el poliestireno (ver cuadro 4.3), se incrementa el valor intrínseco del etileno y hacen de su elaboración un mercado rentable y muy atractivo.

		Por ciento de la demanda de etileno		Consumo de etileno en el producto (T/T) CNGM	
		Mundial	Nacional		
Etileno	Polietilenos	PEBD	33	35	1.03
		PELBD			0.93
		PEAD	21	22	1.04
	Óxido de etileno	Glicoles etilénicos	11	20	0.68 (EG)
	DCE/CVM	PVC	15	7	0.49 (CVM)
	EB/Estireno	Poliestireno	7	4	0.32 (Estireno)
	Otros	-Acetato de vinilo			
		-Alfa olefinas			
		-Etanol	13	12	
		-Acetaldehído			
	-Hule (Estireno-Butadieno)				

Cuadro 4.3. Etileno y su cadena de derivados

Fuente: (25) World light olefins analysis 1994. Vol I.

La situación actual del etileno en nuestro país es el siguiente:

Etileno	
Capacidad instalada a 1996	1,391

Cuadro 4.4. Capacidad instalada etileno (miles de toneladas).
Fuente: (23) Memorias de labores de Pemex 1993, 1996.

Nota: La capacidad instalada de estos petroquímicos se ha mantenido constante en los últimos 6 años (1990-1996).

Centro petroquímico	1991	1992	1993	1994	1995	1996
<i>Cangrejera</i>	475	552	453	511	485	517
<i>Morelos</i>	507	529	498	478	510	462
<i>Pajaritos</i>	183	196	179	164	199	205
<i>Escolín</i>	170	177	151	144	145	136
<i>Reynosa</i>	29	28	23	19	20	21
TOTAL	1364	1482	1304	1316	1359	1341

Cuadro 4.5. Producción de etileno por centro petroquímico (miles de toneladas).
Fuente: (23) Memorias de labores de Pemex 1993, 1996.

El comportamiento del mercado nacional del etileno y sus derivados muestra un crecimiento sostenido a lo largo de los últimos años y se espera que en el corto plazo continúe con esta tendencia; el promedio anual de crecimiento nacional esperado para el año 2000 es de 6.6 por ciento, y para 2005 es de 5 por ciento. El primero es un crecimiento ligeramente superior al crecimiento mundial esperado que es de 5.1 por ciento; esto se ve reflejado en el cuadro 4.6, relativo a los requerimientos de etileno para cubrir los déficit actuales y futuros en las cadenas productivas de resinas y glicoles.

PRODUCTO	DÉFICIT 1995 (Toneladas)	ÍNDICE <u>toneladas etileno</u> tonelada de producto	ETILENO REQUERIDO (Toneladas)
PEAD	109,388	1.0299	112,658
PEBD	106,956	1.09	116,582
ESTIRENO	23,373	0.3198	7,475
CLORURO DE VINILO	189,068	0.5365	101,435
ÓXIDO DE ETILENO	120,000	0.85	102,000
TOTAL			440,150

Cuadro 4.6. Etileno requerido para cubrir el déficit en cadenas productivas.

Fuente: (12) Programa de desarrollo de la industria petroquímica mexicana 1997-2000.

Diagnóstico y lineamientos

Lo anterior indica que es necesario, al menos, incrementar la capacidad adicional en 500 mil toneladas anuales para hacer frente a la demanda de derivados del etileno, y no solo aprovechar la renta económica que proporciona esta línea de negocios, sino también reducir el gasto de divisas requerido.

Producción	1370	1365	1482	1304	1317	1359	1341	1364	1364	1364
Demanda *	1286	1289	1437	1459	1465	1362	1516	1590	1878	2203
Importación *	0	0	0	155	149	3	175	225	514	839
Exportación	126	151	160	108	143	142	140	110	850	525

Cuadro 4.7. Balance oferta-demanda del etileno en México

Fuente: (19) Anuario estadístico de industria química mexicana 1996 ANIQ

(18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex

* Importación y demanda consideran no solamente el etileno sino también sus derivados expresados como volumen de etileno equivalente; lo anterior implica que no se cuenta con la capacidad nacional suficiente de producción de derivados.

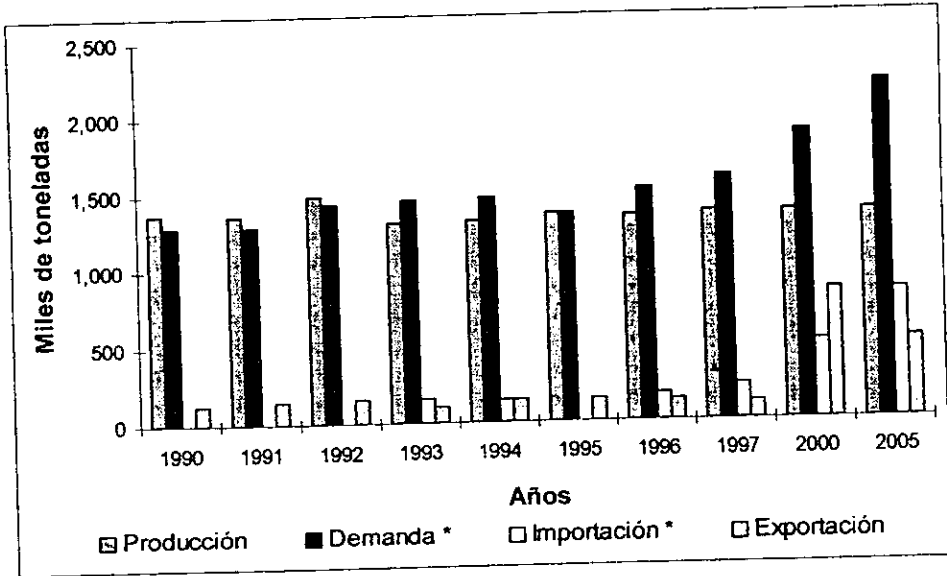


Figura 4.5. Balance del etileno en México.

En los últimos años no se ha dado un cambio significativo en la capacidad de producción del etileno, situación que ha propiciado la saturación operativa de las plantas y frenado el desarrollo de proyectos de diversificación en la cadena.

Durante 1996 el consumo nacional aparente de etileno fue de 1.3 millones de toneladas destinándose aproximadamente el 57% (cuadro 4.3) de la producción nacional a la obtención de polietilenos, mientras que la producción restante fue empleada principalmente en la fabricación de óxido de etileno, acetaldehído, dicloroetano y cloruro de vinilo, petroquímicos que constituyen el origen de la mayor parte de los derivados que pertenecen a la cadena de transformación del etileno, como se puede observar en la figura 4.6.

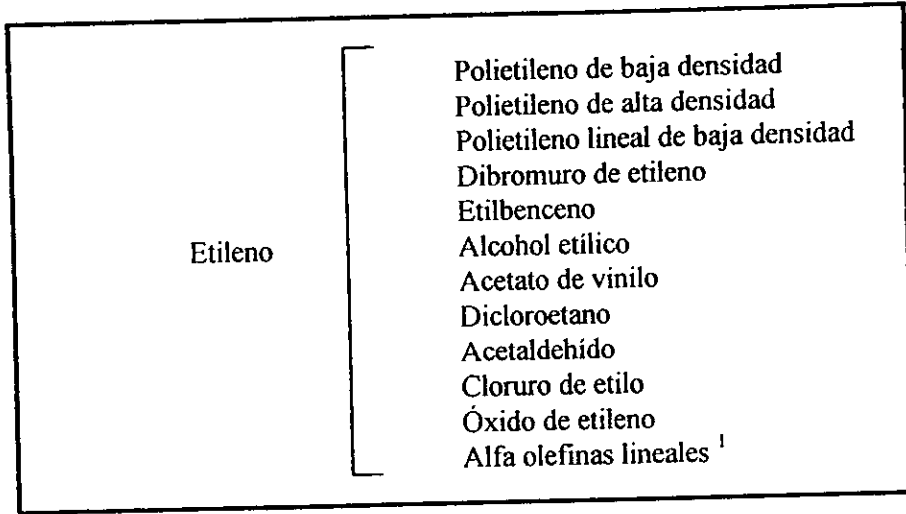


Figura 4.6. Cadena productiva del etileno.

Fuente: (1) Análisis de las cadenas productivas de las olefinas Etileno-Propileno-Butadieno

4.3 ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN DE ETILENO

En el pasado, la industria química en México se orientó principalmente a abastecer el mercado local. Sin embargo, la localización geográfica del país y sus vastas reservas de hidrocarburos, brindan grandes oportunidades en el contexto de la industria petroquímica internacional.

La existencia de grandes reservas de gas y la oferta potencial de etano proporcionan una ventaja competitiva particular en la producción de etileno y sus derivados, así como de sustancias químicas obtenidas a partir de metano, como son el metanol, el amoníaco y sus derivados. Otra ventaja competitiva para el país es su cercanía a los mercados de Norteamérica y Sudamérica, así como los acuerdos comerciales suscritos por el país, sin olvidar que estas ventajas no son exclusivas de México, sino que países como Venezuela,

¹ Las alfa olefinas son compuestos de entre 4 y 30 átomos de carbono con una doble ligadura en un carbono terminal.

como los acuerdos comerciales suscritos por el país, sin olvidar que estas ventajas no son exclusivas de México, sino que países como Venezuela, Colombia y otros países latinoamericanos poseen reservas y han implantado programas para ampliar su industria petroquímica y aumentar su participación en los mercados de Norte y Sudamérica.

• ABUNDANTES RESERVAS DE HIDROCARBUROS.

México ocupa el octavo lugar mundial en reservas probadas de petróleo crudo y el décimo segundo en reservas de gas natural. Al inicio de 1997, las reservas de petróleo crudo ascendieron aproximadamente a 48,472 millones de barriles, en tanto que las reservas de gas natural alcanzaron aproximadamente 64 billones de pies cúbicos. Considerando ritmos de producción similares a los de 1996, dichas reservas representan una oferta de petróleo y gas natural equivalentes a 45 y 42 años, respectivamente.

Tanto el petróleo como el gas natural constituyen fuentes de insumos utilizados para producir gas de síntesis, olefinas y aromáticos, que son materias primas para la industria petroquímica (ver figuras 4.1, 4.2 y 4.3).

Las reservas de gas natural del país aportan una amplia provisión de etano a bajo costo, el cual sirve como principal materia prima para la producción de etileno, que es el compuesto petroquímico más importante a nivel mundial. El etano que no se recupera para su utilización como insumo, se queda en el gas natural y se quema como combustible. En virtud de que el etano es un producto asociado al metano, la oferta potencial de etano depende de la demanda de gas natural como combustible, y del contenido de etano del gas natural.

En 1996, la producción nacional de gas natural dulce² y seco ascendió aproximadamente a 3 mil millones de pies cúbicos diarios. La política integral

² Gas combustible que ha sido purificado de ácido sulfhídrico mediante extracción con etanolaminas.

de combustibles se orienta al crecimiento de los mercados para el uso de gas natural. Se estima que la disponibilidad de gas dulce y seco se situará entre 3.4 y 4.6 miles de millones de pies cúbicos diarios durante el periodo 1997-2000.

Entrando en detalle al análisis del suministro de etileno y/o su materia prima, es necesario señalar que existen dos procedimientos predominantes mundialmente, etano y naftas; una tercera opción sería el hecho de suministrar el etileno directamente a la planta, aunque esta última opción sería la más costosa así como también riesgosa. Trataremos cada punto por separado con el objetivo de conocer las ventajas y desventajas de las diferentes alternativas antes señaladas.

4.3.1 *Etano*

Actualmente el etano es un petroquímico clasificado como básico, mientras que el etileno es un producto en el que no existen limitaciones a la inversión extranjera, de modo que con la nueva política industrial orientada hacia un mercado abierto es posible instrumentar esquemas de participación asociada en esos productos.

• ELEVADO CONTENIDO DE ETANO EN EL GAS NATURAL.

Como mencionamos anteriormente, el etano se extrae principalmente del gas natural y se consume como materia prima para la obtención de etileno o como combustible. Por largo tiempo, los Estados Unidos han sido el principal productor y consumidor de etano, mientras que los países de Europa Occidental han consumido pequeñas cantidades. Japón, por su parte, no consume etano como materia prima, ya que su industria petroquímica se basa en las naftas.

Canadá ha sido el principal proveedor de etano de los Estados Unidos y ha incrementado su consumo interno para la fabricación de etileno. La disponibilidad de grandes reservas de gas natural de bajo costo han impulsado la construcción de plantas de etileno a partir de etano, en México, Medio Oriente y África del Norte.

El contenido promedio de etano en el gas disponible para proceso en México es de 14.5 por ciento en volumen para gas amargo³, proporción significativamente superior al contenido de 7.7 por ciento en volumen de gas asociado al crudo en yacimientos de la Costa Norteamericana del Golfo de México (CNGM). Otra referencia pertinente es el contenido típico de los yacimientos de la zona marina, que representa la mayor disponibilidad de gas asociado en el largo plazo (cuadro 4.8).

CONCEPTO	UNIDAD	1996	1997
Gas amargo procesado	MMPCD	2,726	2,824
Contenido de etano del gas amargo	por ciento (en volumen)	14.5	14.5
Producción de C2+ en la plantas del Sureste	MBD	287	235
Producción de etano	MBD	130	107
	TON/D	7,300	6,073
Consumo de etano en Pemex Petroquímica (Sureste)	MBD	77	76
	TON/D	4,370	4,300
Producción de etano excedente (Sureste)	MBD	53	31
	TON/D	3,000	1,760

Cuadro 4.8. Producción y disponibilidad de etano en PGPB
Fuente: (12) Programa de desarrollo de la industria petroquímica mexicana 1997-2000.
Diagnóstico y lineamientos

³ Gas combustible que contiene compuestos de azufre, tales como ácido sulfhídrico.

El 85 por ciento del etano excedente corresponde a la producción de los centros procesadores de gas de Cactus y Nuevo Pemex, y el 15 por ciento restante a las plantas fraccionadoras del área de Coatzacoalcos.

Al entrar en operación las plantas criogénicas de 500 millones de pies cúbicos diarios (mmpcd) en los centros de Cactus y Nuevo Pemex durante el segundo semestre de 1997, la recuperación de etano se incrementará en 1,250 toneladas por día con referencia a lo producido en 1996. Por consiguiente, el etano excedente se incrementará a 4,250 toneladas por día, lo que representará un alto nivel de disponibilidad, cercano al que se registró en 1995. La capacidad instalada y producción del etano es:

<i>Etano</i>	
Capacidad instalada a 1996	3,848

Cuadro 4.9. Capacidad instalada etano (miles de toneladas).
Fuente: (23) Memorias de labores de Pemex 1993, 1996.

Nota: La capacidad instalada de estos petroquímicos se ha mantenido constante en los últimos 6 años (1990-1996).

Complejo	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Cactus	24.5	25.1	29.9	25.9	24.1	34.0	31.9	36.5	31.9	30.0	21.1
Nuevo Pemex	30.6	27.2	33.5	39.8	32.6	31.2	31.4	34.9	36.7	31.4	25.0
Morelos	-	-	-	-	27.2	39.6	37.7	39.6	40.9	39.8	35.5
Cangrejera	39.1	39.0	44.2	41.7	37.7	33.0	36.7	31.9	36.0	33.2	35.0
Poza Rica	9.8	10.5	11.8	11.4	12.5	13.8	13.6	11.4	10.3	10.5	10.3
Pajaritos	12.4	12.3	12.8	15.4	14.0	11.4	12.9	9.4	9.8	10.4	12.1
Ciudad Pemex	3.8	5.0	6.5	6.3	6.6	6.6	6.7	4.8	5.4	5.1	5.8
Reynosa	2.4	2.5	2.3	1.9	2.2	2.0	2.1	1.5	1.3	1.3	1.3
TOTAL	122.6	121.6	141.0	142.4	156.9	171.6	173.0	170.0	172.3	161.7	146.1

Cuadro 4.10. Producción de etano por complejo (miles de barriles diarios).⁴

Fuente: (23) Memorias de labores de Pemex 1993, 1996.

(18) Anuario estadístico 1991, 1997 Pemex.

⁴ Para cambiar a miles de toneladas diarias de etano, divida miles de barriles diarios de etano entre 17.57.

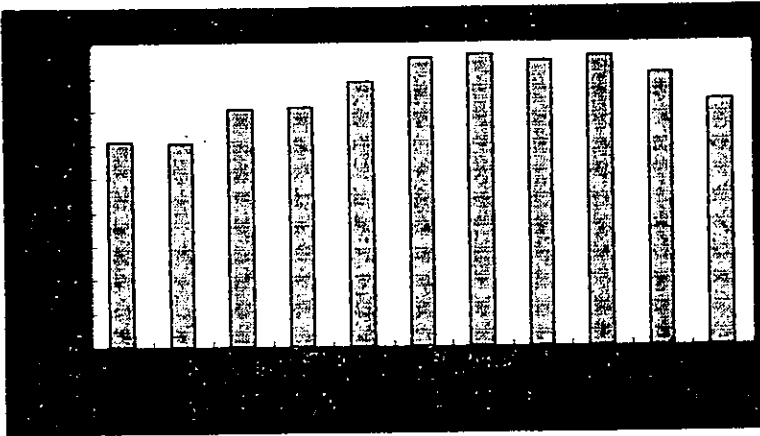


Figura 4.7. Producción de etano.

Por otro lado, aún cuando el contenido de etano disponible en el gas asociado al crudo es bastante alto y se dispone de una alta capacidad de procesamiento de gas en las plantas criogénicas, sólo se aprovecha aproximadamente el 50 por ciento del etano como materia prima petroquímica para producir etileno. El restante 50 por ciento se reinyecta a los ductos para ser utilizado como gas combustible, con lo cual se pierde la oportunidad de transformarlo.

Es tan significativa la disponibilidad de etano que se estima que la cantidad de etileno producida actualmente se podría duplicar, mediante la instalación de tres plantas de etileno de 500,000 toneladas cada una. Ello permitiría poder cubrir las necesidades de materia prima para la producción de polietilenos de alta y baja densidad, poliestireno, glicoles etilénicos y cloruro de vinilo, entre otros.

En el cuadro 4.11 se puede observar que en cuanto a eficiencia de conversión, el etano constituye la materia prima más idónea entre todas las disponibles a nivel internacional.

Esto representa una gran ventaja para México, que produce etileno con base en etano, al hacer más competitivas las cadenas petroquímicas dependientes del etileno, en comparación con países que dependen de etileno producido con base en nafta o gasóleo.

FACTORES DE CONVERSIÓN QUÍMICA	
ETILENO A PARTIR DE:	TONELADAS DE MAT. PRIMA I TONELADA DE ETILENO
ETANO	1.25
PROPANO	2.4
BUTANO	2.50 - 2.60
NAFTA	3.0 - 4.0
GASÓLEO	3.86 - 4.88

Cuadro 4.11. Ventajas por materia prima.

Fuente: (12) Programa de desarrollo de la industria petroquímica mexicana 1997-2000.

Diagnóstico y lineamientos

4.3.2

Naftas

Analizaremos la situación existente en Petroquímica Cangrejera con respecto a su tren de aromáticos, ya que es el principal demandante de naftas, materia prima para sus productos.

El tren de aromáticos de Cangrejera está constituido por un conjunto de diez plantas, donde se procesan las naftas desulfuradas que son suministradas por Pemex Refinación, obteniéndose los productos petroquímicos y otros que a continuación se indican: benceno, tolueno, xilenos, ortoxileno, paraxileno, arocan, aromáticos pesados, pentanos, hexanos, heptanos, hidrógeno, gas residual, licuables de BTX⁵ y componentes para las mezclas de gasolinas.

⁵ Siglas de Benceno, Tolueno, Xileno

Pemex Refinación cuenta con el mismo centro de trabajo, con dos plantas para suministrar la carga al tren de aromáticos. Estos son la estabilizadora de crudo y la hidrodesulfuradora de naftas. La primera procesa 220 MBD (miles de barriles diarios) de crudo Istmo, para obtener cerca de 35 MBD de naftas, las cuales deben ser enviadas a la planta hidrodesulfuradora, donde se combinan con 23 MBD de gasolina natural para complementar la carga y después de desulfurarse son procesadas para separar los pentanos y las gasolinas ligeras, antes de ser alimentadas como naftas de "corte corazón", en un volumen de 36 MBD a los reactores de la reformadora BTX, que es la unidad donde se inician los procesos petroquímicos.

Las condiciones para lograr una rentabilidad adecuada en este conjunto de plantas, implican que se procese una nafta que tenga un alto contenido de promotores de aromáticos y que las instalaciones operen a plena capacidad. Lo primero requiere que se opere con naftas provenientes del crudo, sustituyendo las gasolinas naturales del gas - de menor calidad - que actualmente complementan la carga.

Para resolver la problemática anterior, debemos empezar por definir el tipo de crudo que será procesado en los próximos años. Actualmente se opera con crudo Istmo, en tanto que en el pasado, se procesaron mezclas de crudos Istmo y Olmeca. En los próximos años, será necesario conocer cuál será la oferta de crudos ya que si se tuviera que incorporar el ligero Marino - cuyo rendimiento de naftas es inferior - se reducirían significativamente los volúmenes de nafta, ya de por sí insuficientes en la actualidad. En el siguiente cuadro se muestran las características de estos crudos.

<i>Tipo de crudo</i>	<i>Características</i>
<i>Istmo</i>	Petróleo crudo ligero con densidad 33.6° API y 1.3% de azufre en peso.
<i>Maya</i>	Petróleo crudo pesado con densidad de 22° API y 3.3% de azufre en peso.
<i>Olmecca</i>	Petróleo crudo muy ligero con densidad de 39.3° API y 0.8% de azufre en peso.

Cuadro 4.12. Características de crudos.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex

Según el balance Enero-Noviembre de 1997 de Pemex Gas y Petroquímica Básica, la producción de Etano fue de 2,390.1 MT (115.0 MBD)⁶ y de Naftas de 84.1 MBD (3,255.2 MT) pero, ¿cuanto etileno producirá cada fracción?. Según el cuadro 4.14, el rendimiento de etano-etileno es 0.80 y de nafta-etileno es 0.23; en base a lo antes expuesto, calcularemos la cantidad de etileno que nos dará cada materia prima.

<i>Miles de toneladas (MT)</i>	<i>Etano</i>	<i>Naftas</i>
<i>Materia prima</i>	2,390.1	3,255.2
<i>Conversión a etileno</i>	1,912.1	748.7

Cuadro 4.13. Producción de etileno por fracción.
En base al cuadro 4.14.

<i>Producto</i>	<i>Libras por libra de alimentación</i>				
	<i>Etano</i>	<i>Propano</i>	<i>Butano</i>	<i>Nafta</i>	<i>Gas oil</i>
<i>Etileno</i>	0.80	0.40	0.36	0.23	0.18
<i>Propileno</i>	0.03	0.18	0.20	0.13	0.14
<i>Butileno</i>	0.02	0.02	0.05	0.15	0.06
<i>Butadieno</i>	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04
<i>Gas combustible</i>	0.13	0.38	0.31	0.26	0.18
<i>Gasolina</i>	0.01	0.01	0.05	0.18	0.18
<i>Gas oil</i>	-	-	-	0.01	0.12
<i>Resina</i>	-	-	-	-	0.10

Cuadro 4.14. Rendimiento de diversas materias primas.

Fuente: (7) Petrochemicals in nontechnical language

⁶ Con una densidad para etano de 0.3580 gr/ml y para nafta de 0.6670 gr/ml.

Por otra parte, el Instituto Mexicano del Petróleo ha realizado un estudio preliminar, en el cual al procesar 250 MBD de crudo Istmo, con el esquema antes descrito, se pueden obtener 39 MBD de naftas para reformación. Deberán analizarse otras opciones que permitan incrementos superiores en el proceso de crudo y la producción de naftas y de no ser posible éstos, será necesario considerar la alternativa de importar las naftas que son necesarias para la operación de las unidades a plena capacidad.

CAPÍTULO QUINTO
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

CAPÍTULO QUINTO. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

PETROQUIMICA ESCOLIN S.A. de C.V.

Al buscar el crecimiento de la empresa para mejorar su desarrollo económico y productivo, se tiene contemplado a largo plazo alcanzar una capacidad de 392 mil toneladas anuales de etileno e incrementar hasta 265 mil y 115 mil toneladas la capacidad de sus plantas de PEAD y PEBD respectivamente, es decir, las necesidades de etano crecerán de 600 toneladas diarias en la actualidad a 1 mil 500 toneladas diarias a partir de 2008.

Debido a este planteamiento, es necesario definir estrategias con las cuales podamos hacer frente a la falta de etano-etileno en su caso.

El problema fundamental que enfrenta este centro de trabajo, es el suministro de su principal materia prima (etano), pues el gas con el que cuenta esta región es insuficiente para abastecer al centro de trabajo, por lo cual este no trabaja al 100% de su capacidad.

Actualmente, la planta es abastecida únicamente por la criogénica del Centro Procesador de Gas (CPG) Poza Rica. Cabe destacar que tanto la planta de CGP como la de Escolín, fueron ubicadas en este lugar hace 25 años debido a la alta producción de gas asociado en la zona.

En la actualidad tan solo 2/3 partes de la criogénica son alimentadas con el gas de la región, el resto es del gas del troncal de 48" ocasionando fundamentalmente dos problemas:

1. El gas es menos rico en líquidos lo que disminuye el suministro de propano y butano al Centro Productor de Gas (CPG) Poza Rica, perteneciente a Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB) y de etano a Escolín.
2. El volumen disponible de gas natural no es suficiente para el manejo óptimo de estas plantas. Derivado de lo anterior, Escolín está trabajando a un 75% de su capacidad, dejando de producir polietileno con un valor de 165 millones de pesos.

Este problema con el tiempo tendería a agudizarse; en el caso de que el troncal de 48" comenzará a manejar gas de norte a sur proveniente de Burgos (norte del país) o de importación, estos contarían con pocos líquidos en su composición por lo cual el problema del suministro de gas en esta región sería más grave.

En el aspecto técnico, Escolín enfrenta el problema del suministro de etano; existen diferentes alternativas que estudiaremos para proporcionar la mejor solución a corto y largo plazo.

Dentro del corto plazo, cabe señalar que sería conveniente la recuperación más eficiente de etano en la planta criogénica del C.P.G. Poza Rica, alcanzando el aprovechamiento del 100 por ciento en la utilización de su capacidad instalada.

Entre las opciones para el suministro de etano, se presentan las siguientes:

- ◆ Procesar las materias primas locales y completar con etileno de cabotaje, es decir, traer etileno por barco a la terminal de Cobos, Ver., posteriormente, por el etilenoducto trasladarlo a Escolín.

- ◆ Enviar gas natural rico en etano, propano y butano desde Cangrejera hasta la criogénica (funcionando con una eficiencia mayor tanto la criogénica como la planta de Escolín, por supuesto).

** La solución óptima tal vez implique una combinación de estas alternativas.*

- ◆ Transportar etileno por medio de etileno ducto procedente de CP Pajaritos.
- ◆ Por medio de bombeo de gas asociado, más gas del troncal y más gas de cabotaje.

Y aunque estas soluciones se aprecian correctas, es necesario analizarlas por separado. Estudiaremos las dos más importantes (y complementarias); el suministro de etileno directo de otros centros productores de gas, diferentes al CPG Poza Rica, y el suministro de etano a la región, realizando un balance de gas.

5.1 ETILENO

El etileno, a pesar de que constituye el petroquímico primario de mayor importancia en la industria, es uno de los productos con menor intercambio comercial en mercados abiertos, tanto nacional, debido a los altos costos y a las dificultades inherentes a transportar un producto altamente reactivo y de bajo punto de ebullición.

5.1.1 Almacenamiento

El almacenamiento del etileno requiere de extremos cuidados ya que debe ser conservado en sistemas criogénicos¹ (bajas temperaturas y

¹ Los tanques criogénicos tienen una capacidad de 4,000 toneladas métricas.

debidamente sellado) para su almacenamiento; existe otro tipo de almacenamiento que explicaremos enseguida.

a) Baja presión (0.3 kg/cm^2) y baja temperatura (-100°C).

Bajo estas condiciones se almacena tanto para transporte terrestre como buquetanque; al presentarse fugas se evapora rápidamente y tiende a elevarse, por ello evitar el contacto con los ojos; tal vez lo particular del caso sea que el etileno, al escapar en forma líquida, encharcará momentáneamente la superficie para que, posteriormente, se evapore. Debe tenerse un especial cuidado con las quemaduras por congelamiento que se producen al entrar en contacto con la piel, siendo también inflamable.

b) Alta presión (40 kg/cm^2) y temperatura ambiente.

Al presentarse fugas en los equipos de este tipo de almacenamiento, el etileno se evapora con rapidez y, debido a su baja densidad, tiende a elevarse; es muy importante evitar el contacto con los ojos. Se almacena en tanques esféricos.

5.1.2 *Situación de mercado y de operación.*

Respecto a la situación en el mercado internacional, particularmente en la Costa Norteamericana del Golfo de México, se refleja los rasgos típicos de la estructura de petroquímicos no diferenciados: fragmentación de productores, pocas ventajas potenciales en costos, conducta agresivamente competitiva y rentabilidad cíclica. Por lo anterior, el mercado internacional del etileno presenta una estructura pobre, y por lo tanto, poco atractiva.

Pero por otro lado, al comparar los parámetros operativos de las plantas de etileno de empresas filiales de Pemex Petroquímica y principalmente con los de los productores líderes en la Costa Norteamericana del Golfo de México (ver figura 5.1), se aprecia que existe la necesidad de mejorar rendimientos, a pesar de que los costos operativos totales son similares.

5.1.3 *Transporte*

Sería necesario la construcción de un etilenoducto que vaya desde los centros productores de este petroquímico hasta Petroquímica Escolín, S.A. de C.V.. Habría la posibilidad de correrlo desde la región de Coatzacoalcos, donde se encuentra la mayor producción en el país, pero todo esto tendría un costo altísimo, por lo que también podría transportarse por buquetanque, aprovechando que existe la terminal de etileno de Cobos, Ver., frente al puerto de Tuxpan y el etilenoducto de Cobos a Escolín.

De esta última opción se contemplan varias ventajas como:

- Disponer de etileno en casos de emergencia por falla momentánea de la planta de etileno o para la puesta en operación de la planta en situaciones de paro; en consecuencia se evitaría la baja producción de etileno por paros parciales en sus plantas de polietilenos, ya que el excedente sería enviado a la terminal para su almacenamiento y así poder cumplir con las demandas de polietilenos.
- Se podrá recibir etileno por barco en la terminal cuando su precio en el mercado internacional sea atractivo para nuestra empresa o por no satisfacer la demanda la planta de etileno. Asimismo, los excedentes podrán comercializarse al extranjero cuando su venta reditúe ganancias.

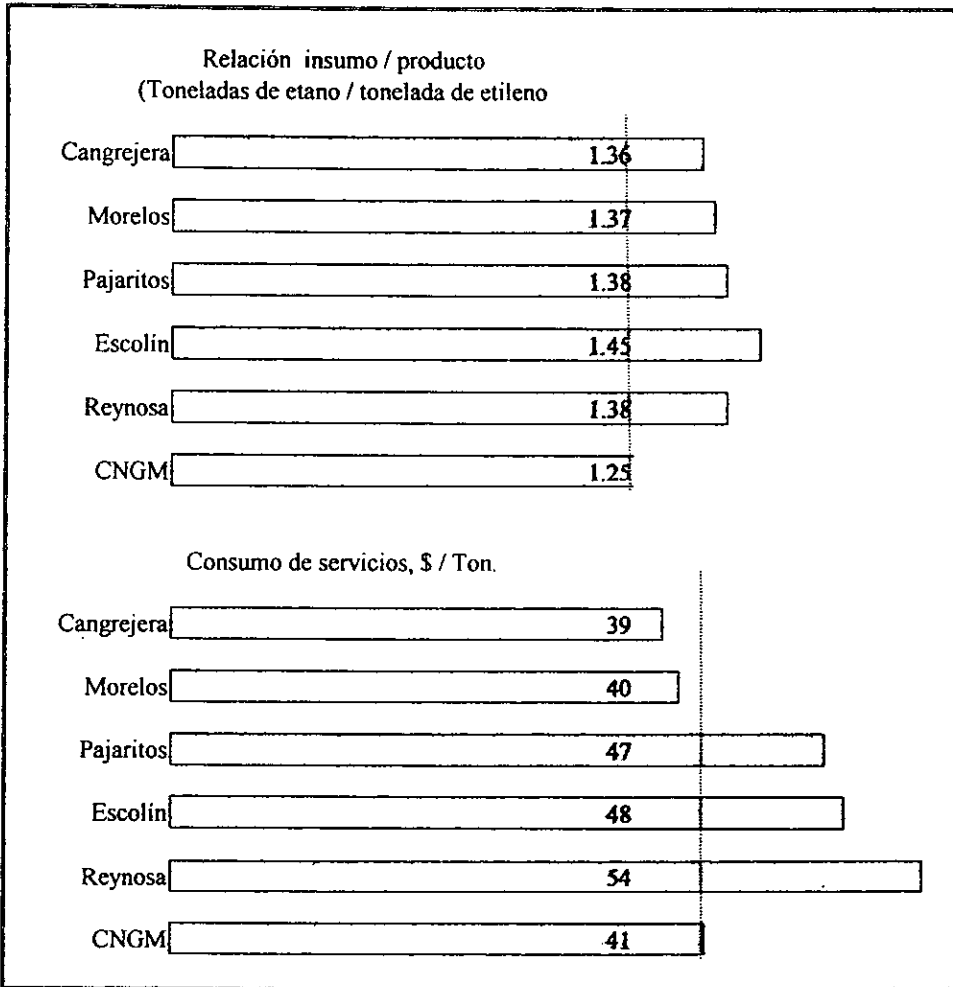


Figura 5.1. Posición competitiva de la producción de etileno a partir de etano.
Fuente: (26) World light olefins analysis. Capacity tables 1995 Vol. II

5.2 CENTRO PROCESADOR DE GAS POZA RICA

En la planeación estratégica de la operación, crecimiento y desempeño futuro del Centro Procesador de Gas (CPG) Poza Rica deben considerarse aspectos importantes como el cambio en el sentido del flujo del gas seco en el gasoducto troncal (48"), la producción y composición del gas de Pemex Exploración y Producción (PEP), los requerimientos de bombeo neumático, los proyectos de comercialización de etano de Pemex Gas y Petroquímica Básica (PGPB), y los requerimientos de materia prima de la Petroquímica Escolín, S.A. de C.V., por ejemplo:

- ↳ El último Balance nacional de gas seco, muestra que en el año 2000 se invertirá el flujo de gas en el gasoducto troncal, fuente importante de etano para la planta de etileno de la Petroquímica Escolín S.A. de C.V., por lo que deben definirse las iniciativas para abastecer los requerimientos de etano en el largo plazo (ver figura 5.2)
- ↳ Como ya se mencionó anteriormente, el incremento en la producción de polietilenos representa también un incremento de etileno, y por lo tanto de etano, por lo que es necesario crear programas o soluciones para estar preparado para este incremento.
- ↳ El etano suministrado al entonces Centro Petroquímico (CPQ) Escolín, ahora Petroquímica Escolín S.A. de C.V., representó para el CPG Poza Rica en 1996, el 8.5% de los ingresos por venta de producto.

Pemex Gas y Petroquímica Básica deberá considerar los requerimientos de etano en la región, para poder desarrollar un conveniente plan de inversiones en CPG Poza Rica.

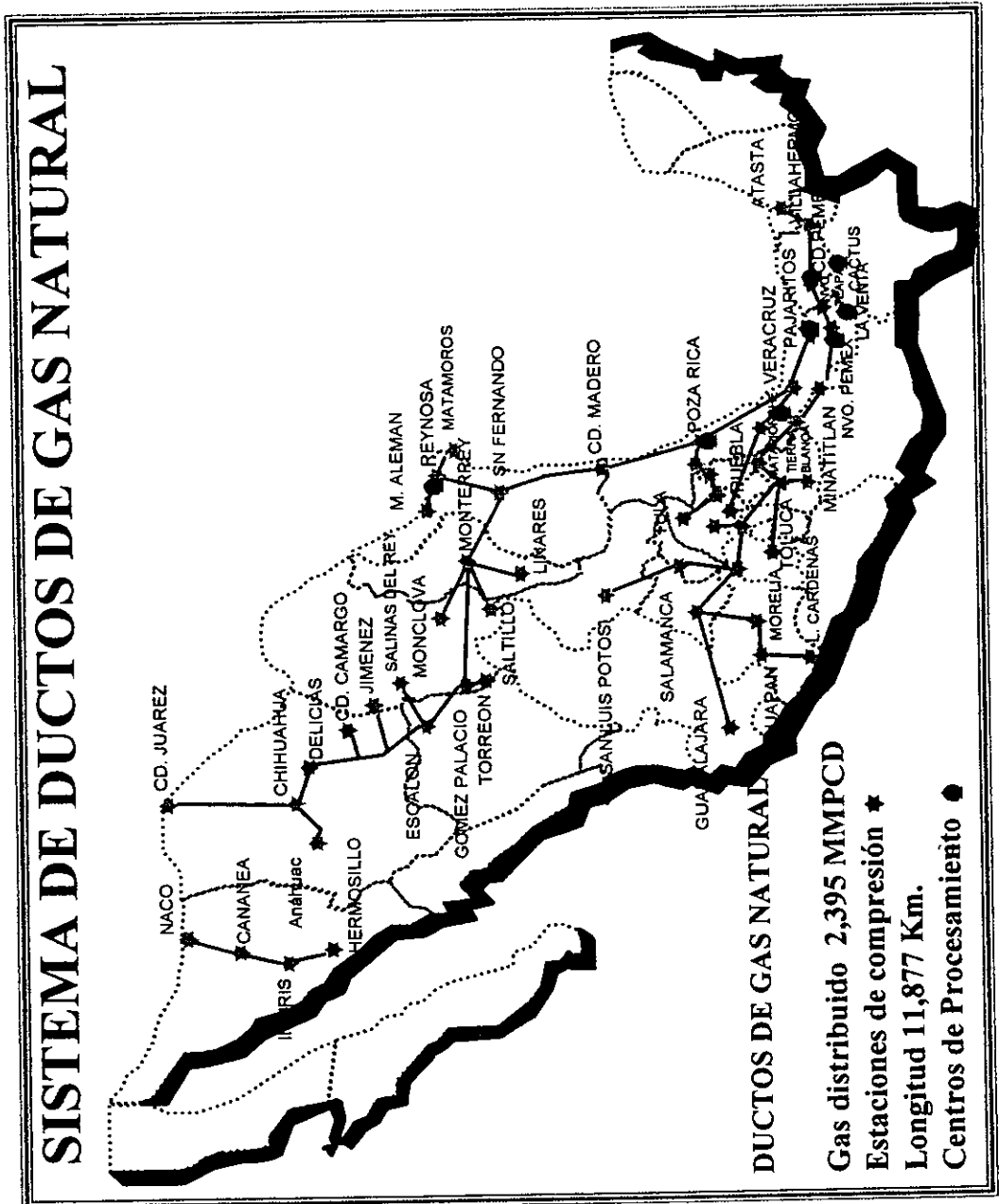


Figura 5.2. Red nacional de ductos de gas natural
 En base a información proporcionada por PGPB

5.2.1 *Situación actual de operación del CPQ Poza Rica*

Producción de Etano

- ◇ La producción del etano muestra una tendencia a la baja, mientras que los requerimientos de pureza se mantienen con una tendencia creciente (figura 5.3)
- ◇ El gas del troncal (48") contribuye con cerca del 80% del etano contenido en la alimentación a la planta criogénica de CPG Poza Rica. (cuadro 5.1 y 5.2)

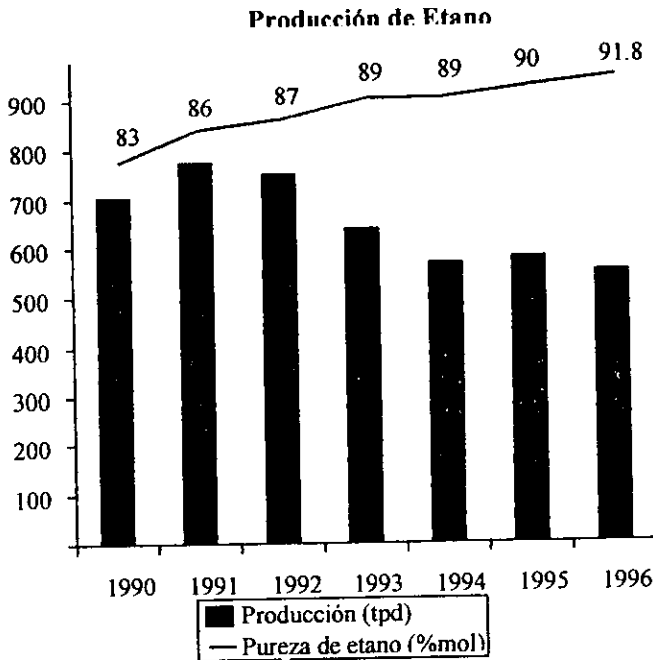


Figura 5.3 Producción de Etano.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

Operación del CPG Poza Rica, 1996

<i>Entrada</i>	<i>Carga (mmpcd)</i>	<i>Composición de etano (%)</i>
Gas amargo	140.85	8.09
Gas de formación	47.82	7.81
Bombeo neumático	93.03	8.18
Gas de troncal	124.91	9.18
Total	265.76	8.6

Cuadro 5.1 Alimentación gas amargo - gas troncal.
En base a información proporcionada por PGPB.

<i>Salida</i>	<i>Producción</i>
Gas seco (mmpcd)	230.83
Etano al 91,78% (tpd)	552
Gas ácido (mmpcd)	4.45
LPG (bd)	2.394
Gasolinas (bd)	1.385

Cuadro 5.2 Producción gas seco - etano.
En base a información proporcionada por PGPB.

Sistemas de Compresión y Ductos de Distribución en el área de Poza Rica

- ◇ La producción de gas seco en Poza Rica se divide entre el consumo local, la parte que se envía al Valle de México y lo que se reinyecta al gasoducto del troncal.

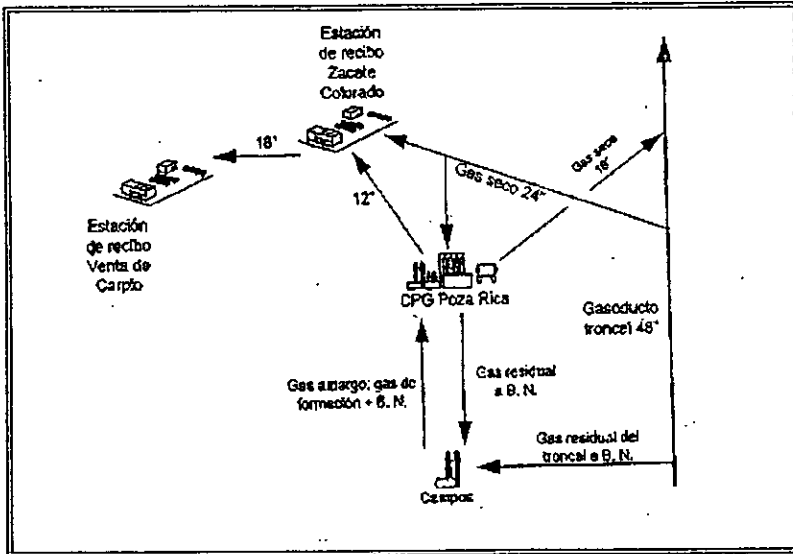


Figura 5.4. Esquema de la red de ductos en la zona Poza Rica.

Fuente: (5) Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo y reglamento de gas natural, CRE.

◊ El manejo de gas seco presenta cuellos de botella en los ductos al Valle de México y de reinyección al troncal de 48" (cuadro 5.3), que deben ser eliminados, pero, la capacidad de compresión es limitada al diseño al cual fueron construidos los compresores (cuadro 5.4).

	<i>Capacidad Transporte</i>	
	<i>Máxima</i>	<i>Actual</i>
<i>Valle de México 18"</i>	110	110
<i>Troncal 16"</i>	111	86
Total	221	196

Cuadro 5.3 Capacidad de ductos.

En base a información proporcionada por PGPB.

EQUIPO	Gas de Entrada	Gas de Salida
GB-601-A/B	275	0
GB-603-A/B	0	180
Casa 6	41	33
Total	316	213

Cuadro 5.4. Sistemas de Compresión.
En base a información proporcionada por PGPB.

Demanda de Etano en Escolín

- La demanda de etano en Petroquímica Escolín S.A. de C.V. registrará un ligero crecimiento en los próximos años (figura 5.5 y 5.6).
- Por tanto, si existe un crecimiento potencial adicional, deberá considerarse y definirse en cuanto avance el proceso de privatización de las plantas petroquímicas.
- Para que pueda asegurarse el cumplimiento de estos requerimientos, es necesario analizar con detalle el efecto de los factores de cambio involucrados en el CPG Poza Rica.

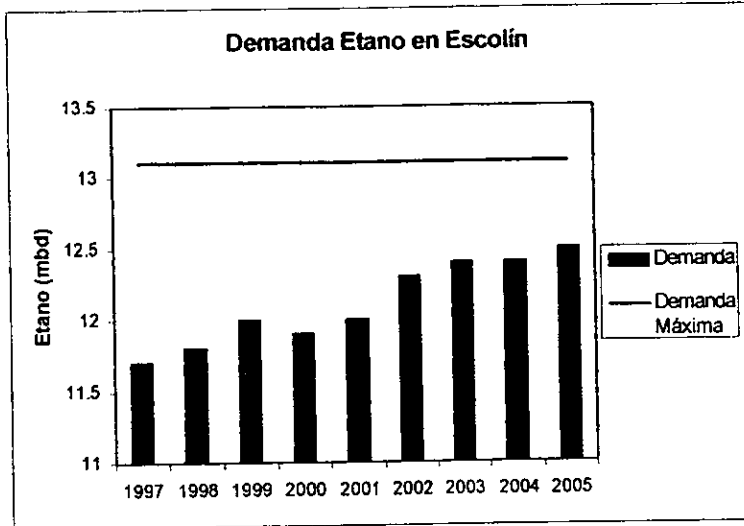


Figura 5.5 Demanda de Etano

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

(26) World Lights Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II

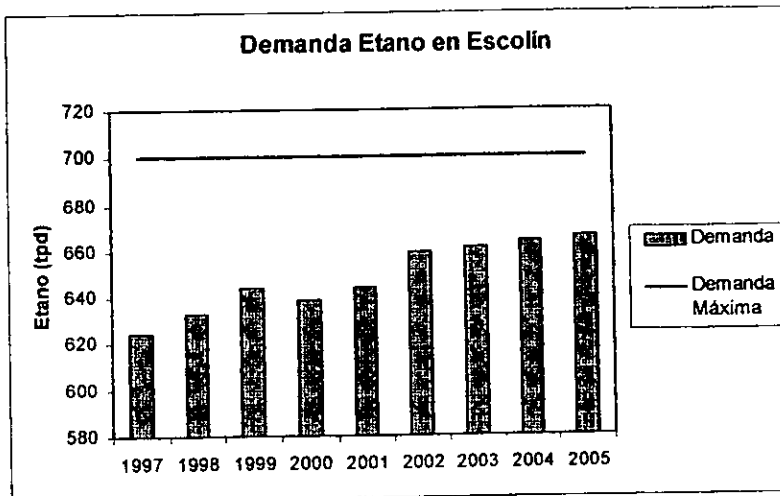


Figura 5.6 Demanda de Etano

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

(26) World Lights Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II

5.2.2 Factores en la producción de etano

Cambio en el sentido del Flujo del gasoducto Troncal

*Balance Oferta-Demanda de Gas Natural
Sistema Nacional de Ductos*

- ◆ El último balance de gas seco en el País demostró que apartir del año 2000 se invertirá el flujo de gas seco en el gasoducto troncal de 48", por lo que se tendrá que bajar gas seco de la región Norte de Zempoala en volúmenes superiores a los 200 MMPCD (figura 5.7, cuadro 5.5).
- ◆ Debido a lo anterior el gas seco del que se dispondrá en Poza Rica como fuente de etano presentará un bajo contenido de este componente, respecto al contenido del gas del sur que se recibe actualmente.

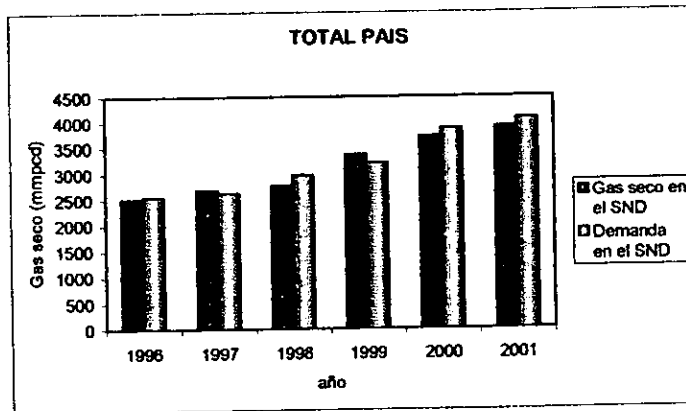


Figura 5.7 Demanda de gas seco en el País.
En base a información proporcionada por PGPB

	REGIÓN SUR			SENTIDO Del flujo	REGIÓN NORTE		
	Gas (ducto)	Demanda	Excedente		Gas (ducto)	Demanda	Imp. Netas SND
1996	2165	1821	344	S->N	350	727	33
1997	2240	1840	400	S->N	460	789	-71
1998	2079	2083	-4	N->S	705	893	192
1999	2376	2231	146	S->N	997	987	-157
2000	2492	2690	-198	N->S	1228	1188	159
2001	2616	2774	-157	N->S	1298	1307	167
2002	2687	2932	-245	N->S	1297	1391	340
2003	2783	3079	-296	N->S	1293	1509	512
2004	2619	3200	-581	N->S	1297	1710	994
2005	2444	3353	-909	N->S	1294	1806	1421

Los Ramones (N) y Zempoala (S)

Cuadro 5.5 Balance demanda-importaciones de gas natural.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

(23) Memorias de labores

Oferta futura de PEP

La disponibilidad de gas amargo con que podrá contar PGPB en Poza Rica, ofertado por PEP, pasará de 143 mmpcd en 1997 a 158 mmpcd en el año 2005 (figura 5.8).

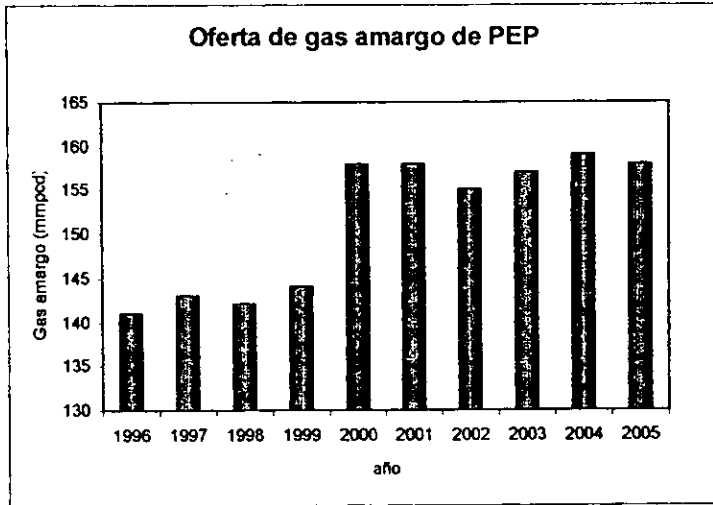


Figura 5.8 Oferta gas amargo.

Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

Oportunidades de Comercialización de Etano

Balance Regional de Etano

- ◆ El Etano excedente, que actualmente se inyecta al gas seco, se encuentra en el área del sureste, cuyo volumen a partir de 1998 oscilará entre 100 y 129 mbd (figura 5.9).
- ◆ De concretarse los proyectos de comercialización de etano, se dejaría de inyectar al ducto troncal y se reduciría su contenido en Poza Rica.
- ◆ La oferta de etano en la región sur es proporcionada por Morelos, Cangrejera, Pajaritos, Cd. Pemex, Cactus y Nuevo Pemex (figura 5.10).

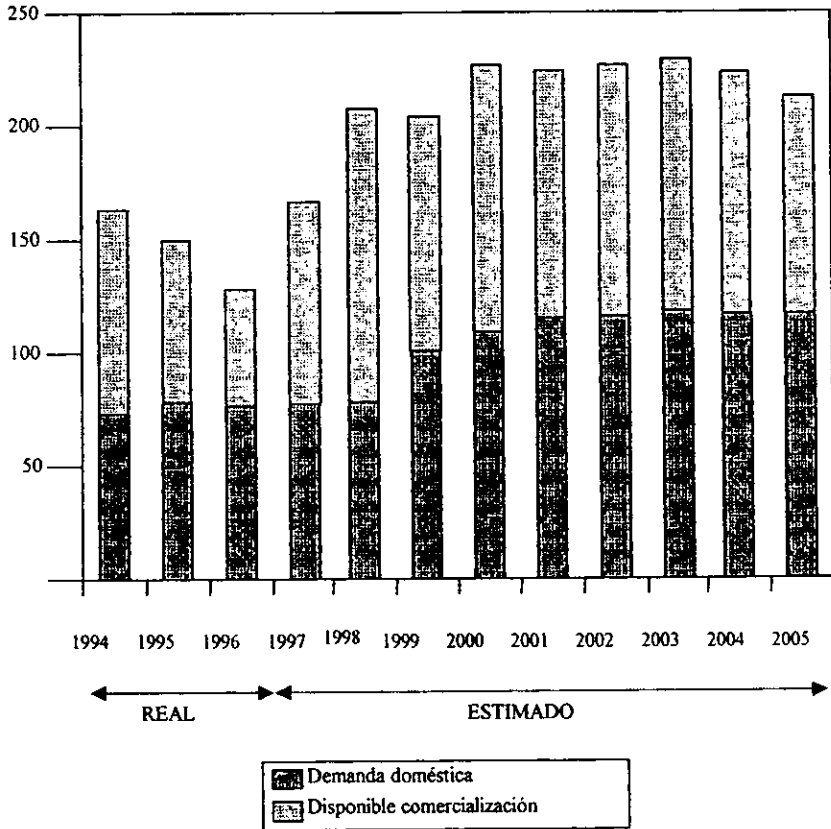


Figura 5.9 Balance de Etano-región sur.
 Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

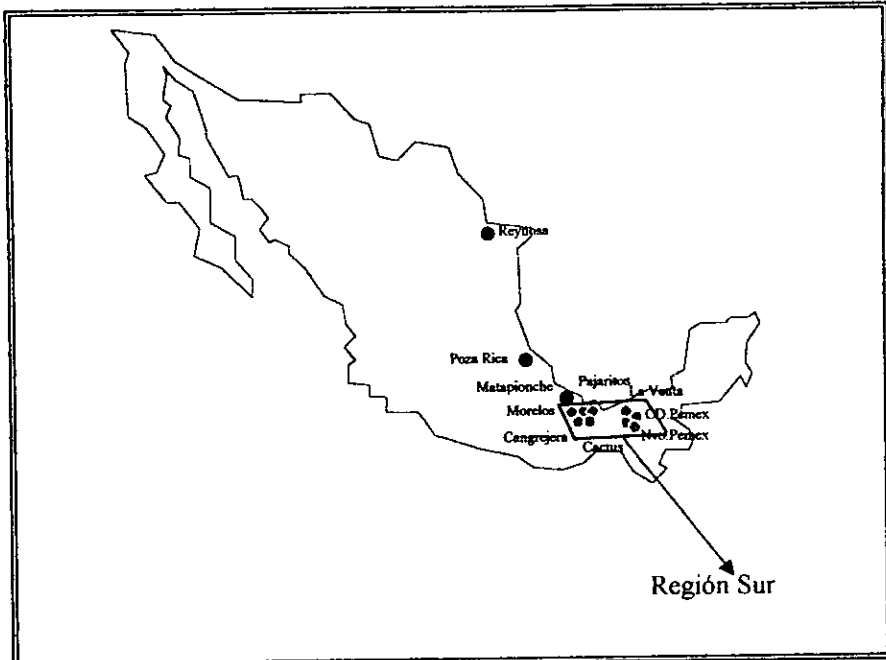


Figura 5.10 Balance de Etano-región sur.
Fuente: (23) Memorias de Labores de Pemex, 1997

Producción Estimada de Etano en el CPG Poza Rica

- ◆ Para cubrir la capacidad de diseño de las plantas productoras de etileno en Petroquímica Escolín.SA. de C.V. que es de 550 tpd es necesario un volumen de 770 tpd de etano, para cubrir la demanda futura se requiere buscar fuentes alternativas de este componente (figura 5.11).

- ♦ Las iniciativas a largo plazo presentan oportunidades de inversión importantes que podrían asegurar el suministro de etano a la planta de Petroquímica Escolín S.A. de C.V.

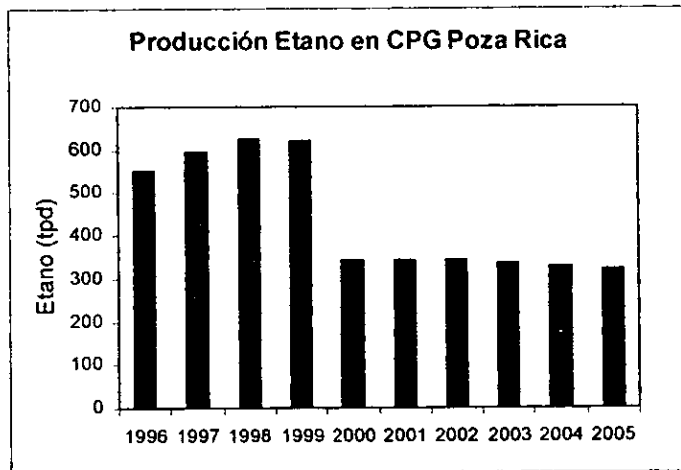


Figura 5.11 Producción de Etano en CPG Poza Rica.
Fuente: (18) Anuario estadístico 1991, 1997. Pemex.

5.2.3 Iniciativas para incrementar la oferta de etano.

Corto y mediano plazo

Objetivo	Iniciativa	Impacto Esperado
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aumentar el contenido de Etano en el gas del troncal 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Modificar la composición de la carga a plantas fraccionadoras de la Cangrejera y Morelos ◆ Inyectar todo el etano producido al troncal de 48" 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Incrementar el contenido de Etano en el gas del Troncal a un nivel superior al 10%, para aumentar la recuperación de Etano en el CPG Poza Rica
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Aumentar la recuperación de etano en el CPG Poza Rica 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Realizar modificaciones propuestas a la planta criogénica, para incrementar la recuperación de etano de 64% a 95%. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Completar la carga de etano a la planta de Escolín.

Largo Plazo

Objetivo	Iniciativa	Impacto Esperado
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Asegurar la oferta de etano por cambio del sentido del flujo en el gasoducto troncal. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Construir ducto de etano de Las Palomas a Poza Rica. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Completar la carga a la fraccionadora para producir 700 tpd al 94%.

Descripción del ducto Las Palomas - Poza Rica

Para los procesos de aprobación del proyecto, licitación y construcción del ducto, se estima un periodo de dos años.

Características

- Longitud de 490 km.
- Diámetro de 10"

Bombeo

- Equipo de bombeo con una potencia de 500 hp, el cual deberá ubicarse en Las Palomas.

Derechos de vía

- Se aprovecharía el derecho de vía del gasoducto de 48".

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- México cuenta con abundantes reservas de hidrocarburos, además el gas natural mexicano es rico en líquidos y etano que constituyen la base de la cadena del etileno y por tanto, de un segmento importante de la industria a nivel internacional debido, además, a la estratégica ubicación geográfica para la exportación de productos.
- El polietileno es materia prima muy importante y con mucho auge en esta época de los plásticos, la facilidad de poder fabricarlo por diferentes métodos, inyección, soplado, moldeo y extrusión, permite una diversidad de productos que han sustituido a otros en el mercado.
- El mercado del polietileno es muy amplio, sin embargo no se han descubierto o considerado todas las aplicaciones a que se puede prestar y, si se considera la producción de los polietilenos restantes como son el Lineal de Baja Densidad y/o el de Ultra Peso Molecular, las expectativas aumentan. El Polietileno Lineal de Baja Densidad tiene un potencial muy amplio, ya que este polietileno puede sustituir en algunos usos tanto al de alta densidad como al de baja densidad, quizás con mejores características, resultando que un solo tipo de polietileno puede abarcar varios mercados.
- Petroquímica Escolín, es una planta que por sus dimensiones, tecnología y esquema productivo se presta más para realizar un cambio en sus condiciones de proceso; además tiene un lugar privilegiado en la Industria Petroquímica Mexicana porque produce una variedad importante de tipos de polietilenos de alta y baja densidad que necesita el mercado, lo cual implica algunos de los petroquímicos con mayor valor económico.

- El incremento de la capacidad de producción de etileno requiere incrementos en la capacidad de sus derivados para obtener así el mayor beneficio económico.
- A su vez, para poder aumentar la producción de etileno se requiere de un aumento en el suministro de etano a la criogénica de CPG Poza Rica; ya sea enriqueciendo la corriente del troncal de gas natural desde Cangrejera, traer etileno por buque tanque a la terminal de los Cobos, Ver., y posteriormente, por etilenoducto trasladarlo a Escolín o, directamente llevando etileno de Petroquímica Pajaritos por etilenoducto a Petroquímica Escolín.
- En base a lo antes expuesto, la mejor alternativa para abastecer a Petroquímica Escolín de su materia prima, etano, es por medio del enriquecimiento de la corriente de gas natural del troncal de 48", que va a la criogénica de Poza Rica y posteriormente pasa a Escolín, por ser la más rentable. Más adelante se debe de considerar la construcción del etanoducto de Las palomas a Poza Rica e incrementar la capacidad de recuperación de la criogénica de CPG Poza Rica.
- Es muy importante señalar que debido al fenómeno de ciclicidad que se presenta en los precios de los petroquímicos, recomendamos producir el etileno y los polietilenos en la misma planta o complejo (como es el caso de Petroquímica Escolín) porque el margen de efectivo contractual es mucho mayor al que se tendría si se produjera uno solo; en este último caso y en ocasiones, no existe margen de efectivo que justifique la producción.
- La mayoría de los materiales termoplásticos pueden procesarse muchas veces, lo que permite reciclarlos y producir un beneficio económico, estratégico y ambiental para la empresa, pero principalmente para el desarrollo del país.

**Economía de Proceso
Polietileno
(Cts./lb) Unidades: Dólares**

	LDPE Tubular	LLDPE Solución	LLDPE Unipol	LLDPE Unipol 2	HDPE Ziegler	HDPE Phillips
Capacidad (MMlbs/yr)	220	350	500	500	350	350
Rango de Operación (%)	92	85	85	85	90	90
<i>Inversión fija total (MM\$)</i>	150.0	125.0	130.0	150.0	115.0	94.0
Capital de trabajo (MM\$)	15.4	22.5	29.0	31.4	22.2	21.4
<i>Inversión total (MM\$)</i>	165.4	147.5	159.0	181.4	137.2	115.4
Precio de los productos @	45.0	46	41	45	42	42
Material nuevo	26.08	27.81	25.52	27.76	25.83	25.58
Químicos y catalizadores	1.2	2.16	1.8	1.8	1.65	1.51
Servicios	1.3	1.02	1.16	1.4	1.45	1.17
Costos totales incrementales	28.58	30.99	28.48	30.96	28.93	28.26
Costos fijos de operación	7.06	3.91	2.89	3.22	3.58	2.98
Patente del proceso *	0.68	0.69	0.62	0.68	0.63	0.63
Administración y ventas	1.35	1.38	1.23	1.35	1.26	1.26
Costos de entrega	2	2	2	2	2	2
Costos totales de operación	11.09	7.98	6.74	7.25	7.47	6.87
<i>Costos totales reales</i>	<i>39.67</i>	<i>38.97</i>	<i>35.22</i>	<i>38.21</i>	<i>36.40</i>	<i>35.13</i>
Depreciación	7.41	3.78	2.75	3.18	3.65	2.98
Reserva o margen	-2.06	3.24	3.04	3.63	1.94	3.89
Impuesto antes del ROI (%)	-2.52	6.53	8.13	8.5	4.45	10.62

* Patente del 1.5 % respecto al precio de los productos

@ Precios de los productos es la suma de reserva, depreciación y costos totales reales

Cuadro A-1. Economía de proceso. Polietileno
Fuente: (26) World light olefins analysis

Economía política del etileno en los Estados Unidos

Los precios son en dólares

Capacidad (MMlbs/yr)	1000.00	Promedio de inversión física (MMS)	450.00
Rango de operación (%)	94.50	Capital de trabajo (MMS)	59.20

Precio de los productos	Cts./lb		Cts./Gal
Etileno	27.00	Butilenos (Ref. 1)	53.00
C.G. Propileno	19.25	Benceno	100.00
Butadieno	23.80	Tolueno/Xileno	87.00
		Gasolina Normal	38.60
Costos de combustible (\$/MMBTU)	1.71	Gasolina sin plomo	43.00
% de interés	8.50	Combustóleo No. 2	46.00
		Combustóleo No. 6 (\$/Bbl)	14.70
		Refinados	38.60

Precio de las materias primas por:	Etano	Propano	Butano normal	Gasolina normal	Gasóleo atmosférico
Costo de las materias primas (Cts./Gal.)	17.50	33.30	41.10	38.60	47.00
(\$/MT)	130.00	174.00	186.00	148.00	146.00
Precio principal (\$/MMBTU)	2.65	3.64	3.97	3.22	3.13

Costos de producción

Materias primas	7.62	18.78	21.20	19.96	25.91
Costos variables de operación	1.99	2.50	2.62	2.95	3.35
<i>Subtotal</i>	<i>9.61</i>	<i>21.28</i>	<i>23.82</i>	<i>22.91</i>	<i>29.26</i>

Precio de los subproductos

(Cts./lb de etileno)

Propileno	0.69	7.70	8.32	8.89	11.99
Butadieno	0.49	1.42	2.07	3.23	4.18
Butilenos	0.12	0.33	1.78	1.33	1.98
Benceno	0.13	0.68	1.03	2.72	3.16
Tolueno/Xileno	0.02	0.14	0.36	1.82	2.35
Refinados	0.06	0.55	0.47	1.30	1.82
400 + Pyr. F.O.	0.00	0.06	0.19	0.62	3.08
Gas (combustible)	1.52	3.23	2.68	2.57	2.16
<i>Total de subproductos</i>	<i>3.03</i>	<i>14.11</i>	<i>16.90</i>	<i>22.48</i>	<i>30.72</i>

COSTOS INCREMENTALES DEL ETILENO	6.58	7.17	6.92	0.43	-1.46
---	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

Intereses sobre el capital en operación	0.26	0.40	0.44	0.47	0.58
Costos fijos de planta	2.26	2.26	2.50	3.19	3.19

COSTO DEL ETILENO (EFECTIVO)	9.10	9.83	9.86	4.09	2.31
-------------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

% de etileno por materia prima	46	18	5	26	5
Costo promedio del etileno (incremental, Cts./lb.)	4.70				
Costo promedio del etileno (efectivo, Cts./lb.)	7.62				

Cuadro A-2. Economía política del etileno en los Estados Unidos
Fuente: (26) World light olefins analysis

ECONOMIA DEL LDPE
Proceso convencional de Alta presión - Tubular
Los precios son en dólares

Capacidad (MMlbs/yr)	220.00	Total de la inversión fija (MMS)	150.00			
Rango de operación (%)	92.00	Capital de trabajo (MMS)	15.40			
	Quantity	Units	Precio por unidad	MMS/yr	Cts/lb	\$/MT
Producto						
LDPE Grado lineal	202.4	MMLbs	0.45 \$ / lb.	91.08	45	992
Material nuevo						
Etileno (1.025)	207.46	MMLbs	0.252 \$ / lb.	52.78	26.08	575
Químicos y catalizadores				2.43	1.2	26
Servicios						
Electricidad	89.06	MMKWh	0.022 \$/KWh	1.95	0.97	21
Vapor	137.63	MMLBS	2.647 \$/Mlbs	0.36	0.18	4
Agua de enfriamiento	4048	MMGAL	0.074 \$/Mgal	0.3	0.15	3
Costos incrementales				57.82	28.58	629
Costos de operación						
Tubería, instrumentación y gastos generales *	7 % TFI			10.5	5.19	114
Mano de obra	9 Op/Shift		19.3 \$/hr	2.43	1.2	27
Int. On W.C.	8.75 PCT			1.35	0.67	15
Patentes del proceso	1.5 % de ingresos totales			1.37	0.68	15
Administración y ventas	3 % de ingresos totales			2.73	1.35	30
Costos de entrega	2 Cts/lb de producto			4.05	2	44
Costos totales de operación				22.43	11.09	245
COSTOS TOTALES REALES				80.25	39.67	874
Depreciación				15	7.41	163
RESERVA O MARGEN				-4.17	-2.06	-45
Impuesto antes del ROI (%)	-2.52					

Cuadro A-3. Economía del LDPE. Proceso convencional de alta presión-tubular
Fuente: (26) World light olefins analysis

ECONOMIA DEL HDPE
Proceso Ziegler Slury (Two reactors)
Los precios son en dólares

Capacidad (MMlbs/yr)	350.00	Total de la inversión fija (MM\$)	115.00
Rango de operación (%)	90.00	Capital de trabajo (MMS)	22.21

<u>Producto</u>	Quantity	Units	Precio por unidad	MMS/yr	Cts./lb	\$/MT
HDPE	315	MMLbs	0.42 \$ / lb.	132.3	42	926
Material nuevo						
Etileno (1.025)	322.88	MMLbs	0.252 \$ / lb.	81.36	25.83	569
Diluyente	0.5	MMGal.	0.95 \$/Gal.	0.48	0.15	3
Químicos y catalizadores				4.73	1.5	33
Servicios						
Electricidad	72.45	MMKWh	0.22 \$/KWh	1.59	0.5	11
Vapor	157.5	MMLbs	2.647 \$/Mlbs	0.42	0.13	3
Agua de enfriamiento	12600	MMGAL	0.074 \$/Mgal	0.93	0.29	6
Nitrógeno	220.5	MCF	7.53 \$/MCF	1.66	0.53	12
COSTOS INCREMENTALES				91.17	28.93	637

<u>Costos de operación</u>						
Tubería, instrumentación y gastos generales *	6 %	TFI		6.9	2.19	48
Mano de obra	9	Op/Shft	19.3 \$/hr	2.43	0.77	17
Int. On W.C.	8.75	PCT		1.94	0.62	14
Patentes del proceso	1.5	% de ingresos totales		1.98	0.63	14
Administración y ventas	3	% de ingresos totales		3.97	1.26	28
Costos de entrega	2	Cts/lb de producto		6.3	2	44
Costos totales de operación				23.52	7.47	165

<u>COSTOS TOTALES REALES</u>						
				114.69	36.4	802
Depreciación				11.5	3.65	80
RESERVA O MARGEN				6.11	1.94	43

Impuesto antes del ROI (%)

4.45

* Gastos generales se refieren a renta, seguro, alumbrado, calefacción, etc.

Cuadro A-4. Economía del HDPE. Proceso Ziegler Slury (two reactors)

Fuente: (26) World light olefins analysis

ECONOMIA DEL HDPE
Proceso Phillips Loop Slurry
 Los precios son en dólares

Capacidad (MMlbs/yr)	350.00	Total de la inversión fija (MMS)	94.00
Rango de operación (%)	90.00	Capital de trabajo (MMS)	21.42

<u>Producto</u>	Quantity	Units	Precio por unidad	MMS/yr	Cts./lb	\$/MT
<u>HDPE</u>	315	MMLbs	0.42 \$ / lb.	132.3	42	926
<u>Materia prima</u>						
<u>Etileno (1.025)</u>	319.73	MMLbs	0.252 \$ / lb.	80.58	25.57	565
<u>Diluyente</u>	0.85	MMGal.	0.4 \$/Gal.	0.34	0.11	2
<u>Químicos y catalizadores</u>				4.41	1.4	31
<u>Servicios</u>						
Electricidad	66.15	MMKWh	0.22 \$/KWh	1.45	0.46	10
Vapor	78.75	MMLbs	2.647 \$/Mlbs	0.21	0.07	1
Agua de enfriamiento	8032.5	MMGAL	0.074 \$/Mgal	0.59	0.19	4
Nitrógeno	189	MCF	7.53 \$/MCF	1.42	0.45	10

COSTOS INCREMENTALES				89	28.25	623
-----------------------------	--	--	--	-----------	--------------	------------

<u>Costos de operación</u>						
Tubería, instrumentación y gastos generales *	6 % TFI			5.64	1.79	39
Mano de obra	9 Op/Shift	19.3 \$/hr		1.89	0.6	13
Int. On W.C.	8.75 PCT			1.87	0.59	13
Patentes del proceso	1.5 % de ingresos totales			1.98	0.63	14
Administración y ventas	3 % de ingresos totales			3.97	1.29	28
Costos de entrega	2 Cts/lb de producto			6.3	2	44
<u>Costos totales de operación</u>				21.65	6.9	151

COSTOS TOTALES REALES				110.65	35.15	774
------------------------------	--	--	--	---------------	--------------	------------

Depreciación				9.4	2.98	66
--------------	--	--	--	-----	------	----

RESERVA O MARGEN				12.24	3.89	86
-------------------------	--	--	--	--------------	-------------	-----------

Impuesto antes del ROI (%) 10.61

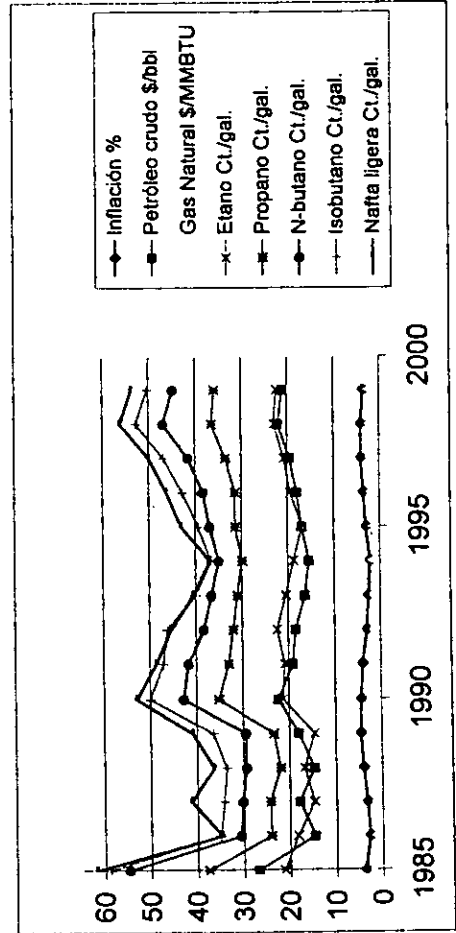
* Gastos generales se refieren a renta, seguro, alumbrado, calefacción, etc.

Cuadro A-5. Economía del HDPE. Proceso Phillips Loop Slurry

Fuente: (26) World light olefins analysis

Precios internacionales de los principales hidrocarburos

Año	Inflación %	ARAC Petróleo crudo \$/bbl	Gas Natural \$/MMBTU	Etano Ct./gal.	Propano Ct./gal.	N-butano Ct./gal.	Isobutano Ct./gal.	Nafta ligera Ct./gal.	Nafta ligera \$/mt
1985	3.76	26.8	2.21	21.21	37.59	34.7	58.85	61.77	237
1986	2.78	14.64	1.83	18.31	24.07	30.36	34.95	34.67	133
1987	3.28	17.87	1.66	14.75	24.2	30.14	34.14	41.2	158
1988	4.01	14.68	1.77	16.81	22	29.32	33.6	36.34	139
1989	4.51	17.96	1.75	14.6	23.35	29.38	36.42	40.86	157
1990	4.4	21.35	1.73	21.29	35.21	42.75	50.02	52.89	203
1991	3.9	19.08	1.51	20.8	33	41.38	46.99	48.6	186
1992	2.9	18.39	1.77	22.42	31.96	38.31	46.17	45.29	174
1993	2.6	16.37	2.12	20.47	31	36.58	39.98	40.5	155
1994	2.1	15.39	1.87	18.74	29.92	34.91	36.67	36.81	141
1995	3	16.95	1.69	16.91	31.36	36.83	39.33	43	165
1996	3.5	18	2.27	19.39	31.38	38.28	42.75	46.17	177
1997	4	19.5	2.44	20.75	33.41	41.48	46.77	49.92	191
1998	4	22	2.74	22.84	36.41	46.83	52.76	56.17	215
1999	3.5	21	2.62	22.26	35.78	44.69	50.3	53.67	206

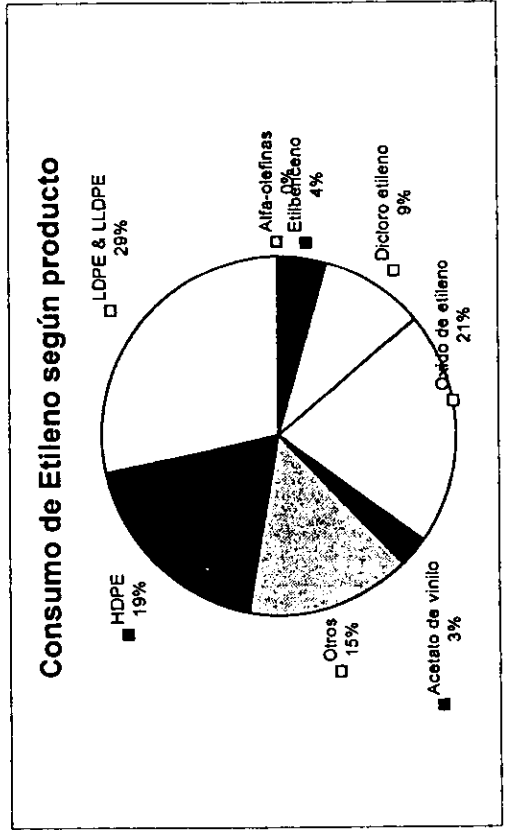


Cuadro A-6. Precios internacionales de los principales hidrocarburos
Fuente: (26) World light olefins analysis

México
Capacidad de etileno. Balance para 1994
(Miles de toneladas métricas)

COMPASIA	LOCALIZACION	CAPACIDAD DE PRODUCCION DE ETILENO							CAPACIDAD DE CONSUMO DE ETILENO									
		Alfa-olefinas	Etilbenceno	Dicloro etileno	Oxido de etileno	Acetato de vinilo	Otros	HDPE	LDPE & LLDPE	Alfa-olefinas	Etilbenceno	Dicloro etileno	Oxido de etileno	Acetato de vinilo	Otros	HDPE	LDPE & LLDPE	Balance
Celanesa Mexicana	La Cangrejera, Ver.					34												-34
PEMEX	La Cangrejera, Ver.	500	56		85				68								305	-14
	Minatitlán, Ver.	0	3															-3
	Minatitlán, Ver.	500			170				102								124	104
	Pajaritos, Ver.	182		125	24				30									3
	Pozos Riea, Ver.	182															52	6
	Reynosa, Tam.	27														18	9	
TOTAL		1391	0	59	125	279	34	200	248	375	248	375	248	375	248	375	248	21

Alfa-olefinas 0 Etilbenceno 59 Dicloro etileno 125 Oxido de etileno 279 Acetato de vinilo 34 Otros 200 HDPE 248 LDPE & LLDPE 375



Cuadro A-7. México. Capacidad de etileno. Balance para 1994.

Fuente: (26) World light olefins analysis

Tabla del comercio mundial de LDPE 1997 Miles de toneladas métricas

Exportado por

	U.S.	Canadá	México	Brasil	Otros Sudamérica	Europa Occidental	Europa Oriental	Otros de África - Medio Oriente	Japón	Corea del Sur	Taiwan	Otros de Asia	Total
U.S.	85												85
Canadá	110				3	23							130
México	104				2								60
Argentina	6			52	2								5
Brasil	3												82
Colombia	54		4	5	3	16							288
Otros Sudamérica	174			30		22		62					260
Europa Occidental	16		6	8		28	167	63					28
Europa Oriental						4	10	8					24
Arabia Saudita	2						125						388
Otros de África - Medio Oriente	12	23		9		219				10	8	6	25
Japón				1					2		2	1	10
Corea del Sur	1	2				2						6	75
Taiwan	12					18		15	24				621
China *	45	27		20		129	21	28	176	90		85	245
Otros de Asia	26	13		15		49	4	5	78	30	25		245
Total	565	150	10	140	10	510	327	181	280	130	35	98	2136

* Se refiere a China continental y Hong Kong

Importado por

Cuadro A-8. México. Tabla del comercio mundial de LDPE 1997
Fuente: (26) World light olefins analysis

Tabla del comercio mundial de HDPE 1997
Miles de toneladas métricas

Exportado por

	U.S.	Canadá	México	Brasil	Otros Sudamérica	Europa Occidental	Europa Oriental	Arabia Saudita	Otros de África - Medio Oriente	Japón	Corea del Sur	Taiwan	Otros de Asia	Total
U.S.	38													38
Canadá	140				10	15			15					180
México	15	5		53	15	5								78
Argentina	20	4	5		5	4			12					60
Brasil	33	4		8	5	22								72
Colombia	82	20	15	12		15		42	35					221
Otros Sudamérica	5	7	10	5	3	15	105	135	125	10	5		30	440
Europa Occidental						6		15	26					56
Europa Oriental						17	93	102		3	48			293
Arabia Saudita				5						5	30		5	35
Otros de África - Medio Oriente														6
Japón														
Corea del Sur														
Taiwan	5	10				3	12	16		30	76		3	140
China *	5	30		10		3	23			55	172		205	515
Otros de Asia	2	30		7		3	103	157	2	37	104	5		450
Total	345	400	30	100	33	120	313	500	215	140	450	5	243	2894

* Sólo se refiere a China continental

Importado por

Cuadro A-9. México. Tabla del comercio mundial de HDPE 1997
Fuente: (26) World light olefins analysis

NUEVOS DESARROLLOS
CATALIZADORES

NUEVOS DESARROLLOS. CATALIZADORES

Un metaloceno es un compuesto metalorgánico con una estructura definida. Los metalocenos se conocen desde 1952 en los trabajos de E.O. Fischer y G. Wilkinson. Ellos descubrieron, casi al mismo tiempo que Karl Ziegler la catálisis metálica. Estos metalocenos fueron usados en la síntesis de poliolefinas a mediados de los años 50's; sin embargo, fueron puestos de lado porque la actividad catalítica era poco adecuada.

Esto cambió en 1975 cuando un grupo dirigido por Sinn y Kaminsky de la Universidad de Hamburgo anunció que la adición de agua provoca un enorme incremento de la actividad catalítica.

A través de la variación en el arreglo espacial de las macromoléculas, las propiedades de flujo y la interacción de fases, es posible obtener arquitecturas poliméricas con nuevas propiedades.

Esto ocurre mediante el empleo de un catalizador que interviene en la conexión entre bloques individuales, en un arreglo de varios monómeros para alterar la distribución y longitud de las cadenas del polímero. La alta actividad catalítica elimina virtualmente los residuos.

Los avances más recientes de los últimos años, en el área de poliolefinas, han sido en el desarrollo de resinas poliolefinicas catalizadas por metalocenos. Varias empresas se encuentran trabajando juntas para apresurar la introducción de estos materiales al mercado.

Este desarrollo tecnológico hace posible lo siguiente:

- Producir copolímeros de etileno - alfaolefinas con densidades desde 0.865 g/cm³.
- Crear polímeros con índices de fluidez desde fraccionales hasta 50.
- Crear polímeros con nuevas características (elastómeros y plastómeros).
- Mejorar los productos de poliolefina existentes.
- Ofrecer mayor flexibilidad de la que permiten otros procesos como fase gas, alta presión, etc.

Debido a los altos costos de investigación y desarrollo, las primeras aplicaciones han sido dirigidas a nichos de mercado específicos. La capacidad de competir con EVA de alto contenido de VA, copolímeros ácidos e ionómeros, debida a su excelente sellabilidad, han colocado a estas resinas en mercados al alto valor agregado.

Otras resinas metalocénicas han sido empleadas en película soplada de alta resistencia y película cast para película stretch industrial, costales, etc. Las películas fabricadas tienen de 3 a 10 veces la resistencia al impacto dardo y de 11 a 40% más la resistencia última a la tensión que las películas convencionales de comonomero hexeno.

Algunos otros materiales que actualmente se producen en plantas piloto, próximos a aparecer en el mercado, incluyen a las Olefinas Cíclicas, PP sindiotáctico y PS sindiotáctico.

Más aún, nuevos PE metalocénicos, basados en diversos comonomeros, aparecerán con relaciones costo / desempeño similares a la de algunos termoplásticos de ingeniería como el amorfo ABS, o resinas cristalinas de PET.

Una nueva generación de poliolefinas metalocénicas comienza a aparecer, siendo dirigida hacia aplicaciones de poliolefinas convencionales. Por su mejor resistencia a la punción y a la tensión y sellabilidad, se incrementa la funcionalidad y la velocidad de las líneas de empaque, comparadas con las convencionales poliolefinas Ziegler-Natta.

Los fabricantes de compuestos están explorando los potenciales de los plastómeros y elastómeros olefinicos (POP, POE) producidos con catalizadores metalocénicos, los cuales compiten con los elastómeros tradicionales y con los copolímeros de VLDPE.

Los POP y POE cuentan con aprobación FDA, presentan combinaciones sin precedentes de tenacidad, rigidez y resistencia al calor.

Los nuevos modificadores se venden en forma de gránulos secos y de flujo libre, mientras que los EPR y EPDM con frecuencia se suministran en bloques, lo cual dificulta el mezclado continuo. Incluso cuando los hules convencionales están disponibles en forma de gránulos, se dispersan con cierta dificultad.

Esto último tiene un gran impacto en los mercados de películas y empaques. Actualmente, estos productos se mezclan con PP, EVA, LLDPE, LDPE y HDPE en aplicaciones comerciales de moldeo por inyección, extrusión-soplo, extrusión de película soplada y cast, y de perfiles.

Las aplicaciones de este tipo de resinas en el campo de los elastómeros aparecen en juntas, partes de frenos, ductos de aire, aislante de correctores, partes de uso médico y artículos deportivos que se pueden clasificar como artículos moldeados. Como artículos extruidos podemos mencionar cintas, aislamiento de alambre y cable, mangueras automotrices e industriales y recubrimientos. También encuentran aplicaciones en aditivos, en modificadores de impacto para Poliolefinas (PP y PEAD), agentes dispersantes para concentrados de color y otros.

A continuación trataremos el tema de los catalizadores metalocénicos (metalocenos) en la producción de polietileno (PE), incluyendo un resumen de los diferentes usos en la industria del polietileno metalocénico (mPE) y sus objetivos dentro del mercado. Los puntos principales pueden resumirse de la siguiente manera:

- Los metalocenos pueden utilizarse para producir el máximo espectro de resinas de PE, clasificándolas desde los polímeros de más baja densidad con propiedades elastoméricas de las resinas de alta densidad.
- Existiendo unidades de PE, éstas pueden adaptarse con sencilla facilidad al uso de nuevos catalizadores. Al variar las fases (gas, líquido, en solución y de alta presión) las plantas de PE pueden producir normalmente mPE.
- La tecnología de los metalocenos estará disponible para licenciarse. Entre los abastecedores del emplomado para el proceso de la tecnología PE están Union Carbide, Industrias Químicas BP y Phillips, mismas que ya anunciaron planes para ampliar la licencia de la tecnología de los metalocenos.
- Química Asahi, BASF y Química Exxon son las fuentes potenciales de las plantas de Escolín, Morelos y Cangrejera (propiedad de Pemex). Exxon y BASF han desarrollado, propiamente, metalocenos para reactores de alta presión (como los de Cangrejera y Escolín); Asahi ha desarrollado estos materiales para unidades que se encuentran en fase líquida (como los de Escolín y Morelos).
- Comparadas con el PE convencional, las resinas mPE presentan mejoras

como por ejemplo fuerza al impacto, resistencia a las perforaciones y en claridad. El mercado para las resinas de mPE incluyen telillas y sistemas de empaquetamiento tan buenos que substituyen el PVC y el EPDM.

DESARROLLO

Pocas innovaciones han ocasionado tanto alboroto en la industria del PE como los metalocenos. De un tiempo a la fecha, los principales productores de PE han demostrado claramente que los metalocenos benefician las resinas de PE mejorando sus propiedades físicas. Basándose en estos prometedores reportes, muchos expertos industriales predicen que los metalocenos desplazarán sustancialmente los sistemas catalizadores usados en la actualidad para la producción de PE.

El desplazo de los sistemas catalizadores existentes será relativamente sencillo ya que los metalocenos "entran sustituyendo" a los catalizadores convencionales. En otras palabras, cualquier planta de PE existente puede usar los nuevos catalizadores; generalmente esto implicará cambios mínimos necesarios, como la ampliación del sistema catalizador que se libera y algunos cambios a las condiciones del reactor, y ambas acciones no son costosas. De hecho casi todas plantas que actualmente están produciendo mPE son plantas convencionales de PE que se han adaptado para trabajar con metalocenos. Únicamente la unidad autoclave Baton Rouge de Exxon se construyó expresamente para producir mPE.

Los metalocenos son más versátiles que los catalizadores convencionales. A diferencia de los sistemas catalizadores convencionales, en donde un tipo de catalizador es usado en conjunción con un proceso o tecnología específica para producir ciertos tipos de PE, los metalocenos pueden utilizarse en diversos procesos, incluyendo las diferentes fases como son: en solución, gas, líquida y alta presión. Por otra parte, también pueden utilizarse para elaborar muchas otras resinas, desde polímeros de baja densidad con propiedades elastoméricas hasta resinas de alta densidad.

Principales productores de mPE.

En la actualidad, Exxon y Dow son indiscutiblemente los principales productores de metalocenos en una escala comercial. Dow, por medio de sus atrevidas acciones, autorizó acuerdos, y en una acción colectiva se buscaron programas y ha establecido, o establecerá muy pronto, su presencia entre los tres mercados más grandes del mundo –América, Europa y Asia (Cuadro A-10). Exxon también está en muy buena posición, con una presencia significativa en los Estados Unidos, dos sociedades ventajosas en Europa (la CIPEN, unida a Shell, y Dex-Plastomers, unida con DSM) y los acuerdos comerciales con Mitsubishi Kagaku en Japón.

PRINCIPALES PRODUCTORES DE mPE POR REGIÓN.			
	<i>América</i>	<i>Europa</i>	<i>Asia</i>
<i>Química Dow</i>	✓	✓	⊗
<i>Química Exxon</i>	✓	✓	
<i>Química Mobil</i>	✓		
<i>Phillips</i>	✓		
<i>BASF</i>		✓	
<i>Borealis</i>		✓	
<i>Química BP</i>		✓	
<i>Fina</i>		✓	
<i>Química Asahi</i>			✓
<i>Evolue Japan Co.</i>			✓
<i>Poliolefinas Japonesas</i>			✓
<i>Mitsubishi Kagaku</i>			✓
<i>Tosoh Co.</i>			✓
<i>Industrias Ube</i>			✓

✓ Producción de mPE a escala comercial (en operación)
 ⊗ Planes de producción de mPE a escala comercial

Tabla A-10. Principales productores de mPE por región.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II.

Ambas compañías han realizado alianzas recientemente que acelerará la comercialización de su tecnología catalizadora. Ahora, la tecnología de los metalocenos estará disponible en una gran escala para las unidades de PE fase gas.

- Dow y Química BP ofertarán una licencia en paquete que consiste en la tecnología Innovene fase gas de Química BP y el metaloceno Insite de Dow.
- Exxon y Union Carbide han formado Univation Technologies, una sociedad 50/50 para licenciar el proceso de fase gas Unipol de Carbide y el metaloceno Exxpol de Exxon.

Otros productores importantes de PE también han estado activos en el desarrollo de los metalocenos. (Cuadros A-11, A-12 y A-13). Por ejemplo, Phillips, el licenciador líder de la tecnología de fase líquida para PE, recientemente anunció sus planes de licenciar la tecnología metalocénica junto con su proceso tecnológico. De igual manera, Mitsubishi Kagaku, y Mitsui Sekka han intentado licenciar su propia tecnología catalizadora.

Varios productores de PE no aparecen en las tablas A-11, A-12 y A-13. Algunos, como Milenium (anteriormente Quantum) no han sido tan activos en el desarrollo de metalocenos y parecen estar en espera a licenciar su tecnología catalítica. Otros, como Nova y Montell, se han enfocado al desarrollo y avance de los catalizadores Ziegler-Natta en lugar de los metalocenos.

PRINCIPALES PRODUCTORES DE mPE EN AMÉRICA

	<i>Dow</i>	<i>Exxon</i>	<i>Mobil</i>	<i>Phillips</i>
Compañía Química Dow				
▲ Freeport, Texas, USA	B			
▲ Plaquemine, Louisiana, USA	B			
Canadá – Química Dow				
▲ Fort Saskatchewan, Alberta, Canadá	C			
Química Exxon				
▲ Baton Rouge, Louisiana, USA		B, C		
▲ Mont Belvieu, Texas, USA		B		
Química Mobil				
▲ Beaumont, Texas, USA			B	
Química Phillips				
▲ Pasadena, Texas, USA				B
Petroquímica Bahía Blanca (Dow/YPF)				
▲ Bahía Blanca, Argentina	C			

A Planta a media capacidad o planta piloto en operación

B Planta de escala comercial en operación

C Planes de planta de escala comercial

Cuadro A-11. Principales productores de mPE en América.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II.

- Nova ha probado, con éxito, el catalizador Advanced Sclairtech y su proceso tecnológico en su planta piloto de Sarnia, Ontario y planea iniciar su licenciamiento.

**PRINCIPALES PRODUCTORES DE mPE
EN ASIA**

	<i>Dow</i>	<i>Exxon</i>	<i>BASF</i>	<i>Borealis</i>	<i>BP</i>	<i>Fina</i>
BASF						
▲ <i>Ludwigshafen, Alemania</i>			B			
Borealis AS						
▲ <i>Ronningen, Noruega</i>				B		
Química BP						
▲ <i>Lavera, Francia</i>	A				A	
BSL (Dow: 80%)						
▲ <i>Schkopau, Alemania</i>	C					
CIPEN						
▲ <i>Notre Dame de Gravenchon, Francia</i>			C			
Dex-Plastómeros						
▲ <i>Geleen, Holanda</i>			B			
Q. Dow Ibérica						
▲ <i>Tarragona, España</i>	B					
Química Fina						
▲ <i>Feluy, Bélgica</i>						A

A Planta a media capacidad o planta piloto en operación

B Planta de escala comercial en operación

C Planes de planta de escala comercial

Cuadro A-12. Principales productores de mPE en Europa.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II.

PRINCIPALES PRODUCTORES DE mPE EN ASIA

	Dow	Exxon	Mitsu	Mitsui	*NP	Tosoh
Industrias Químicas Asahi						
▲ Kurashiki, Prefectura de Okayama, Japón	C					
Evolue Japan						
▲ Ichihara, Prefectura de Chiba, Japón					C	
Poliiolefinas Japonesas						
▲ Kawasaki, Prefectura de Kanagawa, Japón					A, C	
Mitsubishi Kagaku						
▲ Kashima, Prefectura de Ibaraki, Japón				B		
▲ Mizushima, Prefectura de Okayama, Japón				B		
Tosoh Co.						
▲ Yokkaichi, Prefectura de Mie, Japón						C
Industrias Ube						
▲ Ichihara, Prefectura de Chiba, Japón					B	
Polietileno Slam						
▲ Map Ta Phut, Tailandia						C

A Planta a media capacidad o planta piloto en operación

B Planta de escala comercial en operación

C Planes de planta de escala comercial

*NP Petroquímicos Japoneses

Cuadro A-13. Principales productores de mPE en Asia.

Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II.

- Montell tiene listo vender varias licencias de su catalizador Spherilene y su proceso tecnológico. Sin embargo, la propia Montell tiene éxito en el negocio del PE. Aunque la compañía retendrá la propiedad de su planta de PE en Lake Charles, Louisiana, Montell esta cerrando su negocio europeo de PE con Marlene, la nueva sociedad formada entre BASF y Shell.

Opciones metalocénicas en las plantas de polietileno de Pemex.

Los abastecedores potenciales de la tecnología de los metalocenos para las plantas de Pemex (Cangrejera, Escolín y Morelos) están listadas en la tabla A-15. Estas compañías están especializadas en fabricar metalocenos para reactores de alta presión (como los de Cangrejera y Escolín) o unidades de fase líquida (como las de Escolín y Morelos).

- Exxon es un potencial licenciador de la tecnología metalocénica para las unidades de LDPE en Cangrejera y Escolín. Esta compañía produce normalmente mPE en una unidad autoclave en Baton Rouge, Louisiana. Además, Exxon ha autorizado a Mitsubishi Kagaku para usar su tecnología en una unidad autoclave de alta presión en Mizushima, prefectura de Okayama, Japón.
- BASF es una posible fuente tecnológica para las dos unidades LDPE. La tecnología de los metalocenos que BASF ha desarrollado para sus plantas tubulares de alta presión de PE son probablemente apropiadas para utilizarse en una unidad autoclave de PE; sin embargo, esta hipótesis tendría que ser verificada.
- Química Asahi es una fuente potencial de la tecnología de catalizadores para las unidades de HDPE en Escolín y Morelos. La compañía planea producir mPE adaptando una unidad de HDPE de proceso líquido en Mizushima, prefectura de Okayama, Japón utilizando metalocenos. El propietario de los catalizadores Asahi está desarrollando todo junto con la Dow.

Las opciones propuestas a Pemex para una nueva planta de PE dependerán del proceso y la tecnología seleccionada. La Phillips es una fuente potencial de los metalocenos y tecnología de proceso para la unidad de HDPE de fase líquida; Union Carbide/Exxon y Química BP/Dow son los suplentes potenciales del proceso y la tecnología catalizadora para las plantas de fase gaseosa de HDPE y LLDPE.

Pemex también podría ser concesionario de la tecnología metalocénica de otras compañías. De cualquier forma será necesario hacer nuevas

investigaciones para adaptar estos catalizadores a los procesos específicos y tecnologías de Cangrejera, Escolín y Morelos.

Las notas de "World Light Olefins Analysis" respecto a las fuentes potenciales de la tecnología metalocénica están indicadas en la tabla A-15. Resulta obvio que si los propietarios deciden no autorizar libremente su tecnología, las opciones de Pemex pueden resultar muy limitadas.

FUENTES POTENCIALES DE TECNOLOGÍA DE METALOCENOS			
<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad y tecnología</i>	<i>Fuentes potenciales de tecnología de metalocenos</i>
<i>Cangrejera</i>	LDPE	240,000 ton/año (3 líneas) Alta presión, autoclave (ICI)	Exxon; quizás BASF
<i>Escolín</i>	HDPE	100,000 ton/año (2 líneas) Proceso líquido (Asahi)	Química Asahi
<i>Escolín</i>	LDPE	51,000 ton/año (3 líneas) Alta presión, autoclave (ICI)	Exxon; quizás BASF
<i>Morelos</i>	HDPE	100,000 ton/año (2 líneas) Proceso líquido (Asahi)	Química Asahi
LDPE	Polietileno de baja densidad		
HDPE	Polietileno de alta densidad		

Cuadro 14. Fuentes potenciales de tecnología de metalocenos
Fuente: (26) World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol II.

- Las compañías propietarias son libres de escoger a sus concesionarios de entre varios productores de PE, ya sea para formar ventajosas sociedades o a productores localizados fuera de sus zonas geográficas comerciales.
- Algunas empresas potenciales pueden autorizar a sus concesionarios la elaboración de mPE solo hasta cierto grado. Por ejemplo, Dow o Exxon nunca autorizarán una alta producción de grados de muy baja densidad conocidos como plástómeros.

Objetivos comerciales de las resinas de mPE

A corto plazo, el mPE servirá como el mejor sustituto de las resinas de PE convencionales en aplicaciones para los mercados existentes, destacando en el área de empaquetamiento. Además, el mPE competirá con otros polímeros, incluyendo el cloruro de polivinilo (PVC) y el etileno-propileno-dieno de caucho (EPDM) y toda la variedad de sus existentes aplicaciones. A largo plazo, el mPE mejorará sus propiedades físicas y se le encontrará uso en otras aplicaciones totalmente nuevas.

Aplicaciones importantes de mPE:

- **Empaquetamiento de comestibles.** Comparado con el PE convencional, el mPE ha superado fuertes impactos, resistencia a las perforaciones y claridad. Sobre todo, el mPE tiene excelentes propiedades organolépticas – con lo cual no deja sabor ni olor en los productos alimenticios. Esta característica es de vital importancia en el empaquetado de frutas y alimentos que pueden adquirir un sabor a “plástico” de otros productos de PE.
- **Atmósfera de empaquetamiento modificada.** Adicionalmente, el mPE ha tenido buena aceptación para darle una determinada temperatura a los alimentos empacados, de frescura a la lechuga, a zanahorias sin cáscara, al brócoli y a otros vegetales, debido a su balance de vapor de agua y la permeabilidad del oxígeno. El bajo ritmo de transmisión de vapor de agua y la permeabilidad del oxígeno. El bajo ritmo de transmisión de vapor de agua previsto lo produce desde su secado externo en tanto que el nivel intermedio de permeabilidad del oxígeno minimiza los desperdicios, tanto aeróbicos como anaeróbicos.
- **Empaquetamiento comercial y elaboración de bolsas.** En estas aplicaciones, las resinas mPE ofrecen resistencia, firmeza, aguante ante las picaduras y los rasgones. Los procesadores que utilizan solamente resinas mPE o combinándolas con otras resinas PE deben haber conseguido significativos ahorros al variar algunos materiales (haciendo telillas con solvente) sin aminorar sus ganancias.

- **Cable y alambre.** Comparadas con el PE convencional, las resinas mPE ofrecen resistencia superior a la tracción, al desgaste, al rompimiento, flexibilidad y propiedades aislantes.

Además, las resinas mPE ofrecen una libertad halógena, fácil combinación alternativa con el cloruro de polivinilo (PVC) y el etileno-propileno-dieno de caucho (EPDM).

- **PVC.** El mPE tiene el potencial de reemplazo flexible (plasticidad) PVC en una variedad de usos finales, incluyendo aplicaciones filmicas (por ejemplo, película de alta claridad para empaquetado), alambre y cable forrados, claridad en los perfiles moldeados, materiales flexibles para tubería y equipo médico (bolsas para sangre e intravenosas, máscaras, tapa bocas). El mPE ofrece flexibilidad, blandura, claridad y elasticidad de la plasticidad del PVC sin las desventajas de la resina (menos corrosivo en el proceso de equipo y con menos riesgos de incineración).
- **EPDM.** Como el EPDM, el mPE puede combinarse con otros polímeros, incluyendo el PE, polipropileno y sustancias termoplásticas para mejorar la resistencia al impacto, flexibilidad, admitir el relleno y no romperse con facilidad. El mPE ofrece mejor compatibilidad (y de esta manera, modificar su efectividad como un polímero modificado) que el EPDM.

Desde el punto de vista del procesador, el mPE ofrece ventajas como garantizar bajas temperaturas de iniciación, firmeza, claridad y capacidad de adaptación a otros materiales. Sin embargo, para las nuevas resinas puede resultar dificultoso el proceso, y corresponde a los procesadores superar esos problemas -habiendo equipo- al combinar mPE con otras resinas de PE aplicando la primera (mPE) por coextrusión.

POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD (PELBD o LLDPE)

Propiedades

El polietileno lineal de baja densidad es un copolímero, por esta razón sus propiedades físicas son alteradas por la longitud del comonomero. Como el polímero presenta moléculas que son esencialmente lineales, las formas cristalinas son más compactas y ello ocasiona que se obtenga una película menos transparente que con un polietileno de baja densidad.

Las propiedades reológicas y físicas del PELBD son diferentes que las del PEBD, con densidad similar pero con diferencias en el índice de fluidez a consecuencia de que el PELBD tiene una viscosidad mayor. El punto de fusión de las resinas lineales es alrededor de 20°C más alto que el PEBD.

Dentro de las propiedades mecánicas que se distinguen al PELBD de los PEAD y PEBD son: mayor resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación o punción, mejor resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación, por lo que se pueden obtener calibres más bajos que con el PEBD.

En cuanto a su resistencia química, presenta las mismas características que el PEBD, ya que ambos son de naturaleza no polar. Por ser un material atóxico, existen grados FDA para contacto con alimentos.

Aplicaciones

Por sus propiedades, el PELBD es muy interesante para el sector de envase-embalaje. Su aplicación principal es en película y lámina.

Se pueden encontrar en aplicaciones como película encojible, película estirable, bolsas grandes de uso pesado, en contacto con alimentos empacados al vacío como carnes frías y quesos, en coextrusiones con poliamida, debido a que se requiere baja permeabilidad a gases, para bolsas de hielo y pañales desechables.

En la agricultura tiene usos como: acolchado agrícola, para protección y control del maduramiento de las pencas de plátanos, en invernaderos y otros.

POLIETILENO DE ALTO PESO MOLECULAR DE ALTA DENSIDAD (HMW – HDPE)

Propiedades

El polietileno de alto peso molecular de alta densidad es un nuevo grupo de la familia de los polietilenos. Se diferencia de los copolímeros y de los homopolímeros anteriores por su peso molecular promedio, el cual se encuentra entre 200,000 y 500,000 g/gmol.

Otra manera de caracterizarlo es por su índice de flujo, que es inversamente proporcional al peso molecular, razón por la cual presenta mayor dificultad de procesamiento. Su densidad se encuentra en el rango de 0.944 a 0.954 g/cm³.

El polietileno de alto peso molecular presenta propiedades como: buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (de -40 a 120°C), impermeabilidad al agua y no guarda olores.

En cuanto a sus propiedades químicas, son muy parecidas a las del PEAD, aunque el HMW – HDPE presenta mejor resistencia, debido a que la longitud de las cadenas que forman el polímero son mayores, aunque la estructura y naturaleza no polar es igual para los dos.

Aplicaciones

Un gran porcentaje del HMW – HDPE es destinado a la fabricación de película debido a sus propiedades mecánicas y químicas. También tiene características de fácil impresión y doblez que permite utilizarlo en bolsas, empaque de alimentos y recubrimiento de latas, tubería a presión, aplicaciones

industriales como parches de tubería, en distribución de gas, en servicios domésticos de agua y líneas de alcantarillado.

La mayor aplicación del moldeo por soplado está en la manufactura de contenedores con capacidades de 200 litros, los cuales requieren propiedades de impacto, resistencia química y módulo de flexión, también se elaboran tanque de otras capacidades.

Una de las aplicaciones más recientes del HMW – HDPE es como ducto de la fibra óptica para las instalaciones telefónicas.

POLIETILENO DE ULTRA ALTO PESO MOLECULAR (UHMWPE)

Propiedades

Este tipo de polietileno es de alta densidad y elevado peso molecular, entre 3,000,000 y 6,000,000 g/gmol, es un material altamente cristalino y debido a estas dos características, presenta propiedades especiales. Es un material muy difícil de procesar, por su elevado peso molecular tiene un índice de fluidez muy bajo, por lo que es casi imposible usarlo en los procesos de soplado, inyección y extrusión.

El UHMWPE presenta excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -200°C , tiene muy bajo coeficiente de fricción debido a que es un material autolubricante, no absorbe agua (menor al 0.01%); reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos y presenta resistencia a la fatiga.

La propiedad más importante del UHMWPE es la resistencia a la abrasión (aproximadamente 10 veces mayor que la del acero al carbón). Las propiedades químicas del UHMWPE son: muy buena resistencia a medios agresivos, incluyendo a fuertes agentes oxidantes, a hidrocarburos aromáticos y halogenados, que disuelven a otros polietilenos con menor peso molecular.

No es resistente a los ácidos sulfúrico y nítrico concentrados. Algunos grados cuentan con la aceptación FDA que les permiten el contacto con alimentos.

Aplicaciones

Debido a sus propiedades singulares, las aplicaciones de este polietileno son diferentes a las de los otros tipos, van encaminadas principalmente a partes y refacciones de maquinaria.

Para el manejo de materiales se puede encontrar en: soleras de fricción, cintas guía, canales, cintas de desgaste, placas deslizantes, tolvas, rodamientos, en la minería, en rodillos o camisas de desgaste, como recubrimientos para bandas transportadoras, ruedas, bujes, para manejo de productos químicos, en bombas, filtros, partes para válvulas, juntas y empaques.

También tiene aplicación en refacciones de maquinaria de la industria del embotellado, éstas pueden ser estrellas, tornillo sinfin, espaciadores, placas de desgaste, bujes, levas, guías y otros.

En fundiciones se encuentra en placas para manejar arena húmeda en sus tolvas y silos y en los pernos para la transmisión de la potencia de los motores.

En aserraderos para fabricar resbaladillas, canales y soleras de desgaste para cadenas, para facilitar el manejo de los troncos y pedazos de madera.

En la industria eléctrica debido a sus propiedades dieléctricas se emplea en partes de motores eléctricos, interruptores y acopladores.

POLIETILENO DE MUY BAJA DENSIDAD (PEMBD o VLDPE)

Los polietilenos de muy baja densidad son una familia de copolímeros lineales de etileno, con densidades en el rango de 0.880 a 0.910 g/cm³, que se caracterizan por ofrecer buena flexibilidad comparada con otros materiales como el etilen-acetato de vinilo (EVA), etilen-acrilato de etilo, PVC flexible, o elastómero termoplástico etileno-propileno (EPM), con la ventaja de una resistencia mecánica y química.

Estas poliolefinas se producen por copolimerización de etileno con otras alfa-olefinas tales como buteno, hexeno, octeno y propileno por el proceso fase gas o en solución. La densidad, el peso molecular y la distribución de pesos moleculares son variables que se controlan por el contenido de comonomero, el catalizador y las condiciones de polimerización.

Durante la polimerización se obtienen productos de baja cristalinidad, resultando un polímero suave, flexible, con características de absorber energía, que se traducen en notables propiedades de resistencia al impacto, a la punzura y al rasgado.

Las propiedades reológicas de los VLDPE son similares a las de los polietilenos lineales, por tal razón para su transformación deberá utilizarse el equipo diseñado para procesar polietilenos lineales, aunque requiere temperaturas menores de operación durante el moldeo, en el rango de 150 a 175 °C.

Los polietilenos de muy baja densidad encuentran aplicación donde se requiere rigidez, resistencia al impacto y resistencia a la punzura en combinación con suavidad y flexibilidad.

Aplicaciones específicas de este material son: películas para el empaque de carnes, película stretch, película encogible, empaque de productos médicos, adhesivo en coextrusiones; además estas resinas utilizadas como modificadores de impacto y mezclas con PP y PEAD mejoran la resistencia al rasgado en películas.

Otras aplicaciones de los VLDPE han sido para remplazar a los hules termoplásticos como el EPM en aplicaciones automotrices; también tiene aplicación en: mangueras para aspiradoras, juguetes suaves, geomembranas y películas para la agricultura.

RECICLADO

El reciclaje es una opción que permite ahorrar energía y recursos naturales, al aportar nuevamente productos útiles al consumidor y generar otros beneficios económicos.

En la Industria de los plásticos, el comportamiento a alta temperatura constituye un factor importante en el uso económico y en la estabilidad del uso final del producto. El término termoplástico se aplica a aquellos materiales que se ablandan y fluyen por la aplicación del calor y presión.

La mayoría de los materiales termoplásticos pueden procesarse muchas veces, aunque la degradación química llegará a limitar el número de los ciclos de proceso. La ventaja obvia consiste en que una pieza que se rechazó o se rompió después de moldearse, se puede volver a procesar. La desventaja es que hay una temperatura límite para el material arriba de la cual estos materiales no pueden usarse para elementos estructurales.

Al reciclar separamos o extraemos materiales del flujo de desechos, los acondicionamos para su comercialización y finalmente los usamos como materia prima en sustitución de materiales vírgenes para manufacturar nuevos productos, utilizarlos y reciclarlos nuevamente.

El reciclaje contribuye a reducir al mínimo el impacto ambiental de la disposición de los residuos sólidos mixtos (olores, emisiones a la atmósfera y producción de lixiviados); a preservar recursos minerales, petroleros y forestales y a conservar agua y energía.








Sistemas de Codificación.

En 1988 el Instituto de botellas plásticas de la Sociedad de la Industria de los Plásticos (Society of the Plastics Industry, Inc., SPI), propuso crear un sistema de codificación para simplificar la identificación de los materiales con los que se fabrican los envases rígidos de plástico. El propósito de la codificación es auxiliar a empresas recicladoras en la selección en la selección de los plásticos, de acuerdo con el tipo de resina con que están fabricados.

El sistema fue diseñado para ser usado voluntariamente por los productores de botellas y envases rígidos, de modo que el código quede aplicado durante el moldeo o impreso por algún otro método, en la base del contenedor del plástico.

La base del código es un símbolo de forma triangular, integrado por tres flechas, con un número específico en el centro para representar el material a partir del cual está hecha la botella.

Los equivalentes son los siguientes:

	PET	Polietilentereftalato
	PEAD	Polietileno de Alta densidad (HDPE)
	PVC	Policloruro de Vinilo
	PEBD	Polietileno de Baja densidad (LDPE)
	PP	Polipropileno
	PS	Poliestireno
	Otros	Incluye las demás resinas y los materiales multicapa

Cuadro A-15. Codificación de materiales reciclados
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico

Al reciclar polietileno se modifican propiedades como: resistencia a la tensión, elongación, índice de fluidez, color; debido a que el material se degrada químicamente, es decir, sufre cambios en su estructura molecular, ruptura al azar en las cadenas o entrecruzamiento. De acuerdo al cambio, o cambios, que se genere en la cadena es la variación de las propiedades.

Cuando el plástico es regranulado más de una vez es necesario adicionarle aditivos especiales para conservar sus propiedades. Se ha encontrado que ciertos estabilizadores de fosfito son efectivos para mantener la estabilidad de plásticos post-consumo, y tienden a mantener el índice de fluidez constante durante las primeras cinco extrusiones.

La compañía GE Plastic de Estados Unidos ofrece un estabilizador que consiste en una mezcla de fosfito (ultranox 626) y un compuesto fenólico bloqueado (ultranox 276).

En la siguiente tabla se indican los efectos del E2 [bis(2,4-di-tert-butilfenil) pentaeritritol difosfito] y del E3 [tris(2,4-di-tert-butilfenil) fosfito], combinados con BS [tetrakis(metilen(3,5-di-tert-butil-4-hidroxihidrocinamato))metano], sobre el índice de fluidez y el color de una resina virgen de PEAD.

	Extrusión*				
	1ª	3ª	5ª	1ª	5ª
	Índice de fluidez			Índice de amarillamiento	
Base	0.71	0.48	0.49	1.81	9.04
Base + 500ppm E2	0.82	0.81	0.80	-3.04	-0.46
Base + 1000ppm E3	0.85	0.85	0.86	-0.18	11.53

*Se expuso al PEAD a múltiples pasos de extrusión a 250 °C
Base = PEAD + 500 ppm de BS

Cuadro: A-16. Estabilización del PEAD por el uso de fosfitos
Fuente: (4) Enciclopedia del plástico

Usar bis(2,4-di-tert-butilfenil) pentaeritritol difosfito asegura consistencia del índice de fluidez a través de 5 pasos en un extrusor. El PEAD post-consumo responde favorablemente a la adición de estabilizadores. En la tabla se indica el índice de fluidez logrado por estabilizadores y lo compara con el de PEAD que no fue estabilizado.

TÉRMINOS Y ESQUEMAS DE APOYO

TÉRMINOS Y ESQUEMAS DE APOYO

Aceite Crudo

Es la porción de petróleo que existe en la fase líquida en los yacimientos y permanece así en condiciones base de presión y temperatura, puede incluir pequeñas cantidades de sustancias que no son hidrocarburos producidos con los líquidos, tiene viscosidad menor o igual a 10 000 cp medido a la temperatura original del yacimiento y presión atmosférica y libre de gas (estabilizado).

Petróleo aún sin procesar, tal y como se obtiene del subsuelo.

Aceite Crudo no convencional

Es una mezcla de hidrocarburos, que no puede extraerse con métodos convencionales.

Ácido

Compuesto que cuando se disuelve en agua produce iones H^+ .

Ácido carboxílico

Ácido orgánico débil que contiene el grupo $-COOH$.

Alcano

Cualquier miembro de la serie saturada de los hidrocarburos. También se les llama parafínicos.

Alcohol

Compuesto que tiene el grupo funcional $-OH$.

Alquilación

Proceso en donde a las cargas gaseosas se les sustituyen un hidrógeno por un radical alquilo.

Ambiente

Entorno o conjunto de elementos naturales o generados por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados, propiciando la existencia, transformación y desarrollo de organismos vivos. Suma de las condiciones de trabajo dentro de la planta (microatmósfera), condiciones generales de vida (dentro y fuera de la planta), y el entorno ecológico (fuera de la planta).

Compendio de valores naturales existentes en un lugar y en un momento determinados que influye en la vida material y psicológica del hombre.

°API

Son las siglas del *American Petroleum Institute (API)*. Relación existente entre los líquidos, principalmente petrolíferos y/o petróleo, en base a su densidad; ésta nos dice que el líquido más pesado tiene el °API más bajo. Se obtiene de la siguiente manera:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{1415}{\text{densidad}} - 1315$$

Arominas

Nombre dado por Pemex a ciertas fracciones de xilenos pesados.

Aromáticos

Compuesto de carbono e hidrógeno que comúnmente contiene, cuando menos, un anillo bencénico con seis átomos de carbono.

Bitumen natural

Es la porción de petróleo que existe en los yacimientos en fase semisólida o sólida. En su estado natural generalmente contiene azufre, metales y otros compuestos que no son hidrocarburos. El bitumen natural tiene una viscosidad mayor de 10,000 cp medido a la temperatura del yacimiento y presión atmosférica y libre de gas, generalmente requiere tratamiento antes de someterlo a refinación.

Catalizador

Substancia que aumenta la velocidad de un proceso químico sin desgastarse ni cambiar ella misma después de la reacción.

Combustibles de origen fósil

Materia que tiene la acción de arder y que proviene de las variedades de carbón mineral y coque de petróleo, petróleo, gas natural y sus derivados o cualesquiera de sus combinaciones.

Condensados o líquidos del gas natural

Son aquellas porciones líquidas del gas natural que se recuperan en los separadores, instalaciones de campo o en plantas de procesamiento de gas, puede incluir pequeñas cantidades de impurezas (H_2S , N_2 , CO_4).

Condensado de planta

Son líquidos del gas natural recuperados en plantas de procesamiento de gas.

Condensado de separación

Son líquidos recuperados del gas natural de los pozos, asociados y/o no asociado, en separadores gas - líquido o en instalaciones de campo.

Coquización

Proceso de craqueo térmico que produce hidrocarburos ligeros a partir de residuos pesados. Un subproducto de este proceso es el coque.

Craqueo

Procedimiento que rompe y modifica la estructura molecular de los hidrocarburos contenidos en el petróleo, para transformar los productos pesados en productos ligeros de mayor valor comercial.

Craqueo catalítico

Rompimiento y modificación de la estructura molecular que se lleva a cabo en presencia de un catalizador.

Criogénica

La ciencia y tecnología de los materiales a baja temperatura.

Crudo ligero

Petróleo con baja densidad y gran contenido de gasolina; densidad API superior a 27° y hasta 38°.

Crudo pesado

Petróleo con alta densidad y bajo contenido de gasolina; densidad API igual o inferior a 27°.

Crudo superligero

Petróleo crudo con densidad API superior a 38°.

Crudo despuntado

Crudo al cual se le han extraído naftas y otros hidrocarburos ligeros para la producción de aromáticos.

Crudo reconstruido

Crudo despuntado con inyecciones de pentanos y naftas ligeras.

Densidad

Medida de peso por unidad de volumen, generalmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

Desactivación de catalizadores

Proceso en el cual carbón o contaminantes se depositan en el catalizador, evitando que éste cumpla su función.

Desalado

Proceso de lavado en el cual se elimina del petróleo crudo las sales que vienen disueltas.

Desarrollo sustentable

Crecimiento de los recursos naturales a un ritmo tal que asegure por lo menos la misma cantidad de éstos para las generaciones futuras.

Desintegración

Romper las moléculas por medio del calor y presión para formar fragmentos más pequeños.

Destilación. Proceso que consiste en hervir un líquido para formar vapor y luego condensar el vapor para formar nuevamente el líquido. Se usa para separar compuestos líquidos de sus impurezas.

Destilación fraccionada. Proceso de destilación en donde los compuestos que tiene diferentes temperaturas de ebullición pueden ser separados.

Destilación combinada. Proceso de destilación que consiste en dos etapas, la primera a presión atmosférica y la segunda a presión reducida.

Desulfuración. Proceso de eliminación de compuestos de azufre a las fracciones del petróleo.

Emisiones

Descarga directa o indirecta a la atmósfera de energía, de sustancias o de materiales, en cualquiera de sus estados físicos.

Fuentes alternas de energía

Son los procesos que utilizan fuentes renovables como: energía solar y eólica, en sustitución de los hidrocarburos.

Gas asociado

Es el gas natural que se encuentra en contacto y/o disuelto en el aceite crudo del yacimiento. Este puede ser clasificado como gas de casquete (libre) o gas en solución (disuelto).

Gas asociado libre

El gas asociado libre o gas de casquete, es el gas natural que sobreyace y está en contacto con el aceite crudo en el yacimiento.

Gas asociado en solución o disuelto

Es el gas natural disuelto en aceite crudo del yacimiento, bajo las condiciones de presión y temperatura que prevalecen en él.

Gas licuado del petróleo (GLP)

El gas licuado del petróleo es un término usado comúnmente para referirse a mezclas de hidrocarburos que consisten predominantemente de propano y butano, y se obtienen a bajas temperaturas.

Gas húmedo

Es la mezcla de hidrocarburos que se obtienen del proceso del gas natural del cual le fueron eliminadas las impurezas o compuestos que no son hidrocarburos, y cuyo contenido de componentes más pesados que el metano es en cantidades tales que permite su proceso comercial.

Gas natural

Es la porción de petróleo que existe en los yacimientos en fase gaseosa o en solución en el aceite, y que a condiciones atmosféricas permanece en fase gaseosa. Se compone principalmente de metano y puede incluir algunas impurezas o sustancias que no son hidrocarburos (H_2S , N_2 , CO_2).

Gas natural amargo

Es el gas que contiene azufre, compuestos de azufre y/o bióxido de carbono en cantidades que requieren tratamiento, para que pueda ser utilizado.

Gas natural comercial

Es el gas disponible para venderse directamente como combustible doméstico e industrial, o como una materia prima para la industria, ya sea que éste se presente naturalmente o resulta del tratamiento del gas natural.

Gas natural dulce

Es el gas natural que no contiene azufre o compuestos de azufre, o los tiene en cantidades tan pequeñas que no es necesario procesarlo para que pueda ser utilizado directamente como combustible no corrosivo.

Gas natural licuado

Es un gas natural compuesto predominantemente de metano y etano, y que para facilitar su transporte ha sido convertido a fase líquida bajándole la temperatura.

Gas natural no procesado

Es el gas natural producido del yacimiento. Este incluye cantidades variables de hidrocarburos más pesados que se licúan a las condiciones base, e incluye vapor de agua, también puede contener compuestos de azufre tales como el ácido sulfhídrico y otros gases que no son hidrocarburos como el bióxido de carbono, nitrógeno o helio; no obstante, se explota por su contenido de hidrocarburos. El gas natural no procesado a menudo no es adecuado para ser utilizado directamente por la mayoría de los consumidores.

Gas no asociado

Es un gas natural que se encuentra en yacimientos que no contienen aceite crudo.

Gas seco

Es un gas natural que contiene cantidades insignificantes de hidrocarburos más pesados que el metano como para extraerlos en forma comercial, o tener que removerlos para que pueda ser utilizado como un gas combustible. Se obtiene de las plantas de proceso, después de haberle quitado sus licuables.

Gas seco equivalente a líquido (GSLI-L)

Es el volumen de aceite crudo que por su poder calorífico equivale al volumen del gas seco.

Hidrocarburos

Sustancia combustible fósil que se encuentra en yacimientos subterráneos y representa a los compuestos químicos resultantes de la combinación del carbono con el hidrógeno. Este término se refiere, básicamente, al petróleo en todas sus manifestaciones, incluidos los fluidos del petróleo, fuel-oil, los fangos, los residuos petrolíferos y los productos de refinación, así como aquellos enlistados en los anexos del convenio internacional para prevenir la contaminación orgánica generada por los buques. Los hidrocarburos son compuestos químicos constituidos completamente de hidrógeno (14 a 24%) y carbono (76 a 86%).

Hidrogenación

Reacción mediante la cual se adiciona hidrógeno a las dobles y triples ligaduras para saturar una molécula.

Hidrocrqueo

Desintegración que se realiza en presencia de hidrógeno.

Impacto ambiental

Situación caracterizada por la presencia en el ambiente de uno o más elementos nocivos, en tal forma combinados que, atendiendo a sus características y duración, en mayor o menor medida causan un desequilibrio ecológico y dañan la salud y el bienestar del hombre, perjudicando también la flora, la fauna y los materiales expuestos a sus efectos.

Isomerización

El rearrreglo de la estructura de un compuesto sin aumentar o disminuir ninguno de sus componentes.

LPG

Gas licuado del petróleo.

Materiales de desecho

Productos, materias primas o subproductos ya no utilizables en un proceso industrial que, sin embargo, mantienen principios activos que pueden significar riesgos para la salud humana.

Monómero

Compuesto simple conteniendo ligaduras insaturadas y capaces de unirse entre sí con otras moléculas para formar compuestos más grandes (polímeros) con estructuras repetidas.

Naftenos

Hidrocarburos cíclicos saturados, generalmente contienen cinco o seis carbonos en el anillo.

Número de octano

Índice de calidad de las gasolinas para motor, el cual se obtiene por comparación con el iso-octano.

Petróleo

El petróleo es una mezcla que se presenta naturalmente, compuesta predominantemente de hidrocarburos en fase sólida, líquida o gaseosa. En ocasiones contiene impurezas como azufre y nitrógeno.

Petróleo crudo equivalente (PCE)

Es la suma del aceite crudo, condensado y gas seco equivalente a líquido.

Recursos no renovables

Recursos naturales cuyo consumo o utilización provoca su extinción.

Refinación

Se aplica a todas las operaciones cuyo objeto es la fabricación u obtención de los diferentes productos derivados del petróleo.

Refinados del petróleo

Productos obtenidos a partir de diferentes procesos de transformación del petróleo crudo, incluye gasolina, diesel, kerosinas, combustóleo, gasóleo, aceites lubricantes, ceras, asfalto y gas licuado entre los más representativos.

Reformación

Proceso de conversión catalítica de fracciones como gasolina y nafta, formando productos de alto índice de octano.

Regeneración de catalizadores

Proceso para eliminar carbón o contaminantes de un catalizador a fin de que vuelva a ser funcional.

Reserva actual

Es el volumen de hidrocarburos medido a condiciones atmosféricas, que queda por producirse económicamente de un yacimiento a determinada fecha, con las técnicas de explotación aplicable. En otra forma, es la diferencia entre la reserva original y la producción acumulada de hidrocarburos en una fecha específica.

Reservas de hidrocarburos

Se llama así al volumen de hidrocarburos medido a condiciones atmosféricas, que se puede producir económicamente con cualquiera de los métodos y sistemas de explotación aplicable a la fecha de la evaluación.

Reserva original

Es el volumen de hidrocarburos a condiciones atmosféricas, que se espera recuperar económicamente con los métodos y sistemas de explotación aplicables a una fecha específica. También se puede decir que es la fracción del recurso que podrá obtenerse al final de la explotación del yacimiento.

Reservas posibles

Es la cantidad de hidrocarburos estimada a una fecha específica en trampas no perforadas, definidas por métodos geológicos y geofísicos, localizadas en áreas alejadas de las productoras, pero dentro de la misma provincia geológica productora, con posibilidades de obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos, al mismo nivel estratigráfico en donde existan reservas probadas.

Reservas potenciales

Es la cantidad de hidrocarburos inferida a una fecha específica, en provincias o subprovincias, en donde la Información geológica, geoquímica y geofísica disponible indican la presencia de factores favorables para la generación, acumulación y explotación de hidrocarburos, excluyendo las áreas en donde existan reservas probadas y probables al mismo nivel estratigráfico.

Reservas probables

Es la cantidad de hidrocarburos inferida a una fecha específica, en trampas perforadas y no perforadas, definidas por métodos geológicos y geofísicos, localizadas en áreas adyacentes a yacimientos productores en donde se considera que existen probabilidades de obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos, al mismo nivel estratigráfico donde existan reservas probadas.

Reservas probables perforadas

Es la cantidad de hidrocarburos estimada a una fecha específica, de trampas perforadas, en las que no se ha efectuado prueba de producción ni de formación, pero que por registros geofísicos de explotación, muestras de canal y núcleos, se definen condiciones para obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos.

Reservas probables no perforadas

Es la cantidad de hidrocarburos estimada a una fecha específica, en trampas no perforadas, definidas por métodos geológicos y geofísicos, localizadas en áreas adyacentes a yacimientos productores, en donde se considera que existen probabilidades de obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos, al mismo nivel estratigráfico donde existan reservas probadas.

Reservas probadas

La reserva probada es el volumen de hidrocarburos a condiciones atmosféricas estimado a una fecha específica, que se puede producir económicamente con los métodos y sistemas de explotación aplicables, tanto primarios como mejorados, en los yacimientos que se ha probado como productores. Dicho volumen está constituido por la reserva probada desarrollada y la reserva probada no desarrollada.

Reservas probadas desarrolladas

La reserva probada desarrollada es el volumen que se espera producir a través de pozos en donde se disponga de instalaciones de producción, con los métodos operacionales que puedan aplicarse. La reserva por recuperación mejorada puede considerarse dentro de esta clasificación, únicamente después de que el sistema de recuperación mejorada haya sido instalado y se haya tenido una respuesta favorable.

Reservas probadas no desarrolladas

La reserva probada no desarrollada es el volumen que se espera producir por medio de pozos productores sin instalaciones actuales y de pozos futuros. Se podrá incluir la reserva estimada de los proyectos de recuperación mejorada, con prueba piloto, que se han anticipado con alto grado de certidumbre, en yacimientos favorables a este método de explotación.

Residuos

Material resultante de los procesos económicos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad sea de tal naturaleza que no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuos peligrosos

Sustancia que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una acción significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Sintético

Fabricado artificialmente con tecnología química.

Tecnología

Aplicación con propósitos prácticos del conocimiento obtenido de la ciencia pura.

Torre de destilación

Equipo en el cual se lleva a cabo el proceso de separación de las fracciones, mediante etapas sucesivas de evaporación y condensación.

Yacimientos

Es la porción de una trampa geológica que contiene hidrocarburos, la cual se comporta como un sistema intercomunicado hidráulicamente. Los hidrocarburos ocupan los poros de la roca almacenante, quedan confinados por una roca impermeable en la parte superior e inicialmente se encuentran a alta presión y temperatura, debido a la profundidad del yacimiento.

Volumen	
1 pie cúbico	= 0.283168 metros cúbicos
1 metro cúbico	= 35.31467 pies cúbicos
1 metro cúbico	= 6.2898 barriles = 1,000 litros
1 galón (EUA)	= 3.7854 litros
1 litro	= 0.26417 galones (EUA)
1 barril	= 42 galones = 158.9873 litros
Peso	
1 tonelada métrica	= 0.98421 toneladas largas = 2,204.6 libras
1 libra	= 0.45359 kilogramos
Presión	
1 atm	= $1.01325 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (Pa)
1 atm	= 1.01325 bares = 760 mm Hg
1 atm	= $1.01325 \cdot 10^6$ dinas/cm ²
1 atm	= 14.696 lb/pulg. ² (psi)
1 bar	= 1.02 kg/cm ²
1 torr (mm Hg)	= 133 Pa
Calor	
1 BTU	= 0.252 kilocalorías
1 kilocaloría	= 3.968 BTU
1 Joule	= $9.486 \cdot 10^{-4}$ BTU = 0.23901 calorías
Temperatura	
$T(\text{K}) = T(\text{°C}) + 273.15$	$T(\text{°C}) = [T(\text{°F}) - 32] / 1.8$
$T(\text{°R}) = T(\text{°F}) + 459.67$	$T(\text{°F}) = 1.8 T(\text{°C}) + 32$
$T(\text{°R}) = 1.8 T(\text{K})$	
Equivalencias calóricas	
1 barril de crudo	= 5,000 pies cúbicos de gas natural
1 barril de combustóleo	= 6,783 pies cúbicos de gas natural
1 m ³ de gas natural	= 8,460 kilocalorías (para efectos de facturación de gas seco)
Constante de los gases	
8.314 m ³ * Pa/mol * K	8.314 J/mol * K
0.08314 litro * bar/mol * K	1.987 cal/mol * K
0.08206 litro * atm/mol * K	1.987 BTU/lb-mol * °R
62.36 litro * mm Hg/mol * K	10.73 pies ³ * psia/lb-mol * °R

Cuadro A-17. Factores de conversión

Fuente: (6) Perry, Manual del Ingeniero Químico

Producto	Peso específico (gr/cc.)	Producto	Peso específico (gr/cc.)
Alico 1	0.7860	Gasolina natural (a exportación)	0.6330
Alico 2	0.8360	Gasolvente	0.7100
Alico 4	0.8040	Grasas	0.9300
Aceite lámparas	0.8100	Isobutano	0.5631
Asfaltos	1.0300	Impregnante	0.9370
Butano butileno	0.5890	Intermedio 15	0.9800
Butano crudo	0.6000	Lubricantes	0.8900
Butanos	0.5700	Materia prima para negro de humo	1.0700
Citrolina	0.8590	Metanol	0.7920
Coque	0.9030	Metil terbutil éter	0.7410
Diáfano	0.8360	Naftas (gasolinas naturales)	0.6670
Diesel	0.8560	Nafta pesada catalítica	0.9060
Etano	0.3580	Parafinas	0.8207
Gas licuado	0.5400	Pentanos	0.6290
Gas nafta	0.7680	Petróleo incoloro	0.7930
Gasolina	0.7070	Propano	0.5110
Gasolina incolora	0.7070	Propano propileno	0.5140

Cuadro A-18. Pesos específicos de productos seleccionados
Fuente: (23) Memorias de labores de Pemex 1996

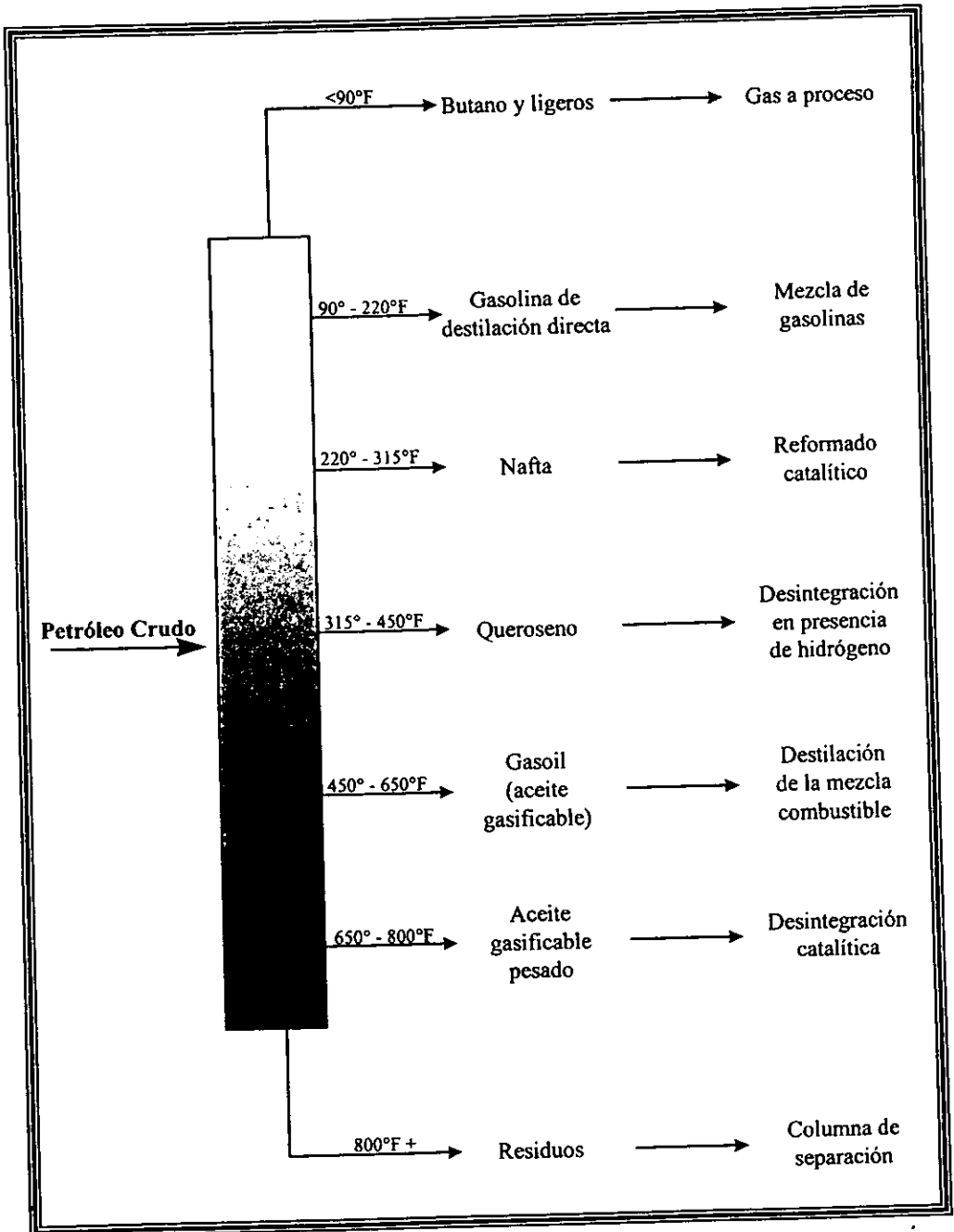


Figura A-1. Destilación de Petr6leo Crudo

Fuente: (8) Petroleum Refining for the non technical person

NOTAS.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA

Libros y artículos

- 1.- **Análisis de las cadenas productivas de las olefinas Etileno - Propileno - Butadieno**
Comisión Nacional de Petróleo, Gas y Petroquímica
Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal
Enero 1994

- 2.- **Desincorporación de la Petroquímica no básica (cronología)**
Secretaría de Energía
Octubre 1997

- 3.- **El Sector Petroquímico en el Tratado Trilateral de Libre Comercio.**
Georgina Kessel & Chong Sup Kim
Instituto Tecnológico Autónomo de México
Octubre 1992

- 4.- **Enciclopedia del Plástico**
Instituto Mexicano del Plástico Industrial, S.C.
México, D.F. 1997.

- 5.- **Ley reglamentaria del artículo 27 constitucional en el ramo del petróleo y reglamento de gas natural**
Comisión Reguladora de Energía
1995

- 6.- Perry, Manual del Ingeniero Químico**
Robert H. Perry, Don W. Green & James O. Maloney
Mc Graw Hill
Sexta Edición
México, D.F. 1992
- 7.- Petrochemicals in nontechnical language**
Donald L. Burdick & William L. Leffler
Segunda edición en Inglés
PennWell Publishing Company
Tulsa, Oklahoma, EUA
1990
- 8.- Petroleum refining for the non-technical person**
William L. Leffler
Segunda edición en inglés
PennWell Publishing Company
Tulsa, Oklahoma, EUA
1985
- 9.- Petroquímica 1984**
Comisión Petroquímica Mexicana
Subsecretaría de la Industria Paraestatal Básica
Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal
- 10.- Petroquímica Escolín, S.A. de C.V. (folleto informativo)**
Poza Rica, Veracruz
1997

- 11.- **Productos Elaborados por Petr6leos Mexicanos. Manual de Propiedades**
Petr6leos Mexicanos
M6xico, D.F.

- 12.- **Programa de Desarrollo de la Industria Petroqu6mica Mexicana 1997-2000, Diagn6stico y lineamientos.**
Secretaria de Energfa y Secretaria de Comercio y Fomento Industrial
Septiembre 1997.

- 13.- **Qu6mica Org6nica**
T.W.G. Solomons
Editorial Limusa, S.A. de C.V.
Noriega Editores
Primera edici6n, Sexta reimpresi6n
M6xico, D.F. 1990

Tesis

- 14.- **Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora de polietileno de alta densidad.**
Colmenares Maldonado Sergio, Morgado Rodríguez Esteban Javier
Facultad de Química, UNAM
México, D.F. 1996
No. 77
- 15.- **Estudio de los procesos de obtención, almacenamiento y control de calidad del etileno en México.**
Cuevas González Blanca Gabriela
Facultad de Química, UNAM
México, D.F. 1995
No. 95
- 16.- **Sensibilidad económica del nuevo sistema productor de etano-etileno-polietileno en Poza Rica, Ver.**
Navar Gamboa Jesús Eduardo
Facultad de Química, UNAM
México, D.F. 1972

Publicaciones periódicas

- 17.- **1995-1996 Ethylene Annual**
De Witt & Company Incorporation
Houston, Texas, EUA.
September 1996.
- 18.- **Anuario estadístico 1991, 1997**
Pemex
- 19.- **Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana 1996**
Asociación Nacional de la Industria Química, A.C. (ANIQ)
- 20.- **Anuario Estadístico y Presupuestal del Sector Energía 1995**
Dirección General de Programación y Presupuesto
Oficialía Mayor
Secretaría de Energía
- 21.- **Reglamento de gas natural.**
Secretaría de Energía.
Diario Oficial de la Federación
Miércoles 8 de Noviembre de 1995
- 22.- **Indicadores Petroleros**
PEMEX
Enero 1997. Vol. IX, Núm. 1
Marzo 1997. Vol. IX, Núm. 3
Agosto 1997. Vol. IX, Núm. 8

- 23.- Memorias de Labores 1993, 1996**
Petróleos Mexicanos
Unidad de Planeación Corporativa de Petróleos Mexicanos
Marzo 1994, Marzo 1997
- 24.- Statistical yearbook 1995**
PEMEX
- 25.- World Light Olefins Analysis 1994. Vol. I**
Chemical Market Associates Incorporation (CMAI)
Houston, Texas, EUA
Febrero 1995
- 26.- World Light Olefins Analysis. Capacity Tables 1995. Vol. II**
Chemical Market Associates Incorporation (CMAI)
Houston, Texas, EUA
Febrero 1996

Direcciones en Internet.

- 27.- <http://www.cre.gob.mx>
Dirección en internet de la Comisión Reguladora de Energía (CRE).
- 28.- <http://www.energia.gob.mx>
Dirección en internet de la Secretaría de Energía (SE).
- 29.- <http://www.pemex.gob.mx>
Dirección en internet de Petróleos Mexicanos (Pemex).

Nota: La Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) pasó a ser, por decreto, la Secretaría de Energía en Diciembre de 1995.