

**ANÁLISIS DEL USO DEL GAS NATURAL COMO MATERIA PRIMA DEL
POLIETILENO EN COLOMBIA**

ING. SANDRA FABIOLA RODRIGUEZ BLANCO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE GAS
BUCARAMANGA
2004**

**ANÁLISIS DEL USO DEL GAS NATURAL COMO MATERIA PRIMA DEL
POLIETILENO EN COLOMBIA**

ING. SANDRA FABIOLA RODRIGUEZ BLANCO

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al
Titulo de Especialista en Ingeniería de Gas.

Director

ING. EMILIANO ARIZA LEÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE GAS
BUCARAMANGA**

2004

DEDICATORIA

A mis padres Eduardo Rodríguez y Ana Rosa Blanco de Rodríguez, para quien los éxitos de sus hijos son sus máximas alegrías. A mis hermanos y a Dios con quienes comparto cada instante de felicidad.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Emiliano Ariza, Ingeniero de Petróleos y Director de la Especialización en gas, por sus valiosas orientaciones.

Jairo Orlando Buitrago, Ingeniero Químico, por su aporte de experiencia y conocimiento a disposición de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	15
1. EL GAS NATURAL	17
1.1 DEFINICIONES	17
1.1.1 Gas Natural	17
1.1.2 Gas Natural Licuado	17
1.1.3 Gas Agrio o Ácido	17
1.1.4 Gas Dulce	18
1.1.5 Gas Rico	18
1.1.6 Gas Pobre	18
1.1.7 Gas Seco	18
1.2 PROPIEDADES DEL GAS NATURAL	18
1.2.1 Leyes que gobiernan el comportamiento de mezclas de gases ideales	19
1.2.1.1 Ley de Dalton de Presiones Parciales	19
1.2.1.2 Ley de Amagat de Volúmenes Parciales	19
1.3 USOS DEL GAS	19
1.4 DERIVADOS DEL GAS NATURAL	20
1.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL GAS NATURAL	24

1.5.1	Metano	24
1.5.1.1	Obtención y usos del amoníaco	25
1.5.1.1.1	Usos industriales del amoníaco	27
1.5.2	Etano	28
1.6	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GAS NATURAL	31
2.	DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE PRODUCTOS INTERMEDIOS PETROQUÍMICOS Y TECNOLOGIAS DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO	34
2.1	OBTENCIÓN DE MATERIAS PRIMAS PETROQUÍMICAS	35
2.1.1	Proceso de obtención de olefinas	37
2.1.1.1	Obtención del etileno	38
2.1.1.2	Obtención de hidrocarburos aromáticos	41
2.1.1.3	Obtención del negro de humo	42
2.2	PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS INTERMEDIOS DE LA PETROQUÍMICA	43
2.2.1	Productos derivados del etileno	43
2.2.1.1	Oxido del etileno	44
2.2.1.2	Acetaldehído	45
2.2.1.3	Acetato de Vinilo	47
2.2.1.4	Ácido acrílico	48
2.2.1.5	Dicloroetano	48
2.2.1.6	Etilbenceno	49
2.2.1.7	Alcohol etílico o etanol	50
2.2.1.8	Propionaldehído	50

2.2.1.9 Polietileno	51
2.2.1.9.1 Polietileno de baja densidad (LDPE)	52
2.2.1.9.2 Polietileno de alta densidad (HDPE)	53
2.2.1.9.3 Polietileno Lineal de baja densidad (LLDPE)	53
2.3 EL POLIETILENO – PROCESOS DE PRODUCCIÓN	54
2.3.1 Procesos de baja presión	56
2.3.1.1 El proceso solución	57
2.3.1.2 El proceso Slurry	57
2.3.1.3 Los procesos fase gaseosa	58
2.3.2 Proceso de alta presión	59
2.3.2.1 Reactor autoclave	59
2.3.2.2 Reactor tubular	59
2.4 TECNOLOGIAS DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO	60
2.4.1 Tecnología de solución y de Slurry de baja presión	60
2.4.1.1 Tecnología para producir polietileno lineal (LPE) (Licenciador Chevron Chemical Co., LP)	60
2.4.1.2 Tecnología para producir Polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de media densidad (MCPE) bajo el proceso de Slurry – “CX process” (licenciador Mitsui Chemicals, Inc)	62
2.4.1.3 Tecnología para producir polietileno de alta densidad (HDPE) usando el proceso Hostalen	64
2.4.2 Tecnología de baja presión en fase gaseosa	67
2.4.2.1 Tecnología fase gaseosa Spherilene (licenciador Basell Polyolefins)	68

2.4.2.2	Tecnología fase gaseosa Borstar (licenciador Boreales A/S)	70
2.4.2.3	Tecnología en fase gaseosa Innovene (licenciador BP.)	72
2.4.2.4	Tecnología en fase gaseosa UNIPOL. Para producir polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) a polietileno de alta densidad (HDPE) a baja presión.	73
2.4.3	Tecnología de alta presión	76
2.4.3.1	Tecnología Exxon Mobil Chemical Co	76
2.5	TECNOLOGÍA Y PROCESO DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO EN COLOMBIA	78
3.	MERCADO DEL POLIETILENO	81
3.1	DEMANDA GLOBAL DEL POLIETILENO	83
3.2	DEMANDA DEL POLIETILENO EN MÉXICO, ARGENTINA Y LA UNIÓN EUROPEA	86
3.2.1	Definición del mercado geográfico	92
3.2.2	Evaluación competitiva	93
3.2.3	Mercado de las resinas	95
3.2.4	Diversidad de tendencias	95
3.3	MERCADO DEL POLIETILENO EN COLOMBIA	97
3.3.1	Demanda del gas petroquímico	97
3.3.2	Evaluación de la infraestructura existente	97
3.3.3	Demanda del polietileno	98
3.3.4	Análisis económico	99
4.	CONCLUSIONES	102
	BIBLIOGRAFIA	105

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla1. Usos del gas natural.	20
Tabla 2. Calidad de gases comercializados en Colombia.	32
Tabla 3. Olor de los esteres fabricados con ácido acético.	46
Tabla 4. Empresas de tecnología fase gaseosa.	68
Tabla 5. Consumo aparente de termoplásticos.	89
Tabla 6. Principales materias primas procesadas por la industria plástica Argentina	90
Tabla 7. Mercado de Polietileno.	94
Tabla 8. Mercado de Polietileno de baja densidad: Toneladas / mes.	99
Tabla 9. Análisis beneficio/costo de producir polietileno lineal de baja densidad.	101

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Derivados del Gas Natural	22
Figura 2. Productos obtenidos a partir del etileno	23
Figura 3. Diagrama del proceso para producir gas de síntesis	25
Figura 4. Esquema de una típica planta de Turbo - expansión	30
Figura 5. Proceso de obtención del etileno	40
Figura 6. Principales derivados del etileno	44
Figura 7. Polietileno lineal – Chevron Phillips Chemical Co., LP	62
Figura 8. “CX process” – Mitsui Chemicals, Inc. Polietileno de alta densidad y de mediana densidad	64
Figura 9. Proceso Hostalen. Para producir polietileno de alta densidad (HDPE)	66
Figura 10. Spherilene gas – phase technology	69
Figura 11. Proceso Borstar Polyethylene	71
Figura 12. Proceso fase gaseosa Innovene	73
Figura 13. Tecnología en fase gaseosa UNIPOL	75
Figura 14. Tecnología Exxon Mobil Chemical Co. Polietileno de baja densidad	77
Figura 15. Plantas de Polietileno I y II. ECOPETROL	80
Figura 16. Demanda por países	96

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DEL USO DEL GAS NATURAL COMO MATERIA PRIMA DEL POLIETILENO EN COLOMBIA*

Autor: SANDRA FABIOLA RODRIGUEZ BLANCO**

Palabras claves:

- ✓ Gas natural, propiedades, derivados y productos obtenidos a partir de este.
- ✓ Polietileno, procesos de producción y su mercado.

CONTENIDO

El presente documento describe en forma didáctica los principales aspectos del gas natural como potencial en la producción de petroquímicos finales. Se evalúa el aprovechamiento del gas natural como materia prima para la producción del polietileno en Colombia y otros países; y se analiza la aplicabilidad del etano y los beneficios de este en la industria del polietileno teniendo como referencia los diferentes procesos que deben desarrollarse a fin de salvaguardar esta riqueza natural para que las generaciones futuras también lo disfruten.

La declinación de los actuales campos de producción de gas natural de alto contenido de etano en la zona central (Payoa, Provincia y Opón) obliga a pensar en el gas Cusiana como fuente alterna. Adicionalmente el alto contenido de etano presenta un excelente potencial petroquímico en este gas, siendo el de mejores perspectivas a nivel país. Desde este punto de vista no tendría ninguna presentación quemar este gas con alto valor petroquímico como gas doméstico en los grandes centros urbanos, existiendo alternativas que le generarían un mayor desarrollo y beneficio para el país, mediante la recuperación previa del etano y el posterior envío a las redes de gas natural de una gas menos rico en etano, produciendo al final el mismo beneficio social y el correspondiente aporte al desarrollo de la industria petroquímica. Nos encontramos ante una situación que requiere una acción inmediata tanto por parte del sector privado como del sector oficial para generar nuevos puestos de trabajo y disminuir así el desempleo actual.

De darse la inversión privada el desarrollo de una nueva planta de polietileno promoverá la conformación y establecimiento de nuevas industrias de procesamiento de plásticos, que generarían nuevos empleos de una manera directa e indirecta. Adicionalmente y teniendo en cuenta las proyecciones del mercado se podría visualizar la factibilidad de construir una planta de polietileno de alta densidad ó lineal de baja densidad que son lo que mayor proyección de crecimiento presentan en el actual mercado, lo cual acarrearía una sustitución inmediata de importaciones y un gran desarrollo a la economía del país.

* MODALIDAD MONOGRAFIA

** Escuela de Ingeniería de Petróleos, Especialización en Ingeniería de Gas, Director: EMILIANO ARIZA LEON

ABSTRACT

TITTLE: ANALISIS OF THE USE OF THE NATURAL GAS LIKE RAW MATERIAL OF POLYETHYLENE IN COLOMBIA*

Author: SANDRA FABIOLA RODRIGUEZ BLANCO**

Key words:

- ✓ Natural gas, properties, derivatives and products obtained from this.
- ✓ Polyethylene, processes of production and their market.

Content:

The present document describes in didactic form the main aspects of the natural gas like potential in the production of petrochemical end. The advantage of the natural gas like raw material for the production of polyethylene in Colombia and other countries is evaluated; and one analyzes the applicability of the ethane and the benefits of the this in the industry of polyethylene having like reference different processes that must be developed in order to safeguard this natural wealth so that the future generations also enjoy it.

The declination of the present fields of natural gas production of high content of ethane in the central zone (Payoa, Province and Opón) forces to think about the gas Cusiana like alternating source. Additionally, the high content of ethane presents an excellent petrochemical potential in this gas, being the one of better prospective at level country. From this point of view it would not have any presentation to burn this gas with high petrochemical value like domestic gas in the great urban centers, existing alternative that would generate a greater development to him and benefit for the country, by means of the previous recovery of the ethane and the later one in the end sent to the natural gas networks of a less rich gas in ethane, producing the same social benefit and the corresponding contribution to the development of the petrochemical industry. We were before a situation that as much requires an immediate action on the part of the sector deprived as of the official sector to generate new jobs and to diminish therefore present unemployment.

To occur to the private investment the development of a new polyethylene plant it will promote the conformation and establishment of new industries of plastic processing, which would generate new uses of a direct and indirect way. Additionally and considering the projections of the market the feasibility could be visualized to construct to a polyethylene plant of lineal HD or of low density that are what greater projection of growth displays in the present market, which would carry a substitution immediate of imports and a great development to the economy of the country.

*MODALITY MONOGRAPH

**School of Engineering of Petroleums, Specialization in Engineering of gas, Managing EMILIANO ARIZA LEON

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento del Gas natural en Colombia se remonta a los años 50, con el uso que se le comenzó a dar a la producción de gas asociado en el Medio y Bajo Magdalena. Durante mucho tiempo y hasta mediado de los años 70, la capacidad de suministro del gas natural se mantuvo constante y dependiente de los campos de Payoa y Provincia en el Medio Magdalena.

Los hallazgos de gas libre en la Guajira, en los campos de Ballena, Chuchupa y Riohacha a comienzo de los años 70, permitieron doblar la capacidad nacional de suministro de gas natural. Adicionalmente, en los campos de Cusiana y Cupiagua, al aumentar la relación gas/aceite en la explotación de estos yacimientos y disminuir la necesidad de reinyección del gas producido hace que este gas represente una alternativa muy importante de abastecimiento del mercado.

La producción del crudo del yacimiento Cusiana tiene un potencial de generación de excedentes de gas, GLP y gasolina natural. Estudios realizados en los inicios de la etapa de producción muestran potencial entre 200 y 400 MMSCFD de gas, con producción de líquidos asociada de 3.7 KBDO en los inicios y hasta 13 KBDO al final del proyecto.

El gas actualmente en producción tiene un contenido de etano superior al 10% v, presentando un excelente potencial petroquímico, siendo el de mejores perspectivas a nivel del país. Desde este punto de vista no tendría ninguna presentación quemar este gas con alto valor petroquímico como gas doméstico en los grandes centros urbanos, existiendo alternativas que le generarían un mayor desarrollo y beneficio para el país. La demanda de gas combustible en el país para uso en las plantas termoeléctricas, en la industria y en las redes de gas domiciliario de los principales centros urbanos presenta una tendencia creciente y opera como impulsador de proyectos de producción y masificación de este combustible.

La presente monografía pretende en el primer capítulo definir el gas natural, sus tipos y los principales productos obtenidos a partir de éste. En el segundo capítulo se describen los productos petroquímicos secundarios derivados del etileno como acetaldehído, etilbenceno, polietileno de alta y baja densidad, y otros; además de definir el polietileno y sus clases, se describe los procesos y tecnologías para producir polietileno. En el tercer capítulo se analiza la demanda global del polietileno en Colombia, México, Argentina y la Unión Europea, y haciendo énfasis en nuestro país se realiza un análisis económico teniendo en cuenta que Colombia solo produce polietileno de baja densidad y el precio del crudo y del gas. En el cuarto capítulo se hacen unas conclusiones.

1. EL GAS NATURAL

1.1 DEFINICIONES

1.1.1 Gas Natural. Se denomina gas natural al formado por los hidrocarburos más volátiles de la serie de los alcanos o parafínicos, principalmente metano, cantidades menores de etano, propano y butano y un contenido pequeño de compuestos más pesado. Además contiene un contenido variable de gases no hidrocarburos tales como el nitrógeno, dióxido de carbono, vapor de agua, helio y sulfuro de hidrógeno. El gas natural puede obtenerse de yacimientos de gas libre o asociado en yacimiento de petróleo y de condensados.

1.1.2 Gas Natural Licuado. Gas natural que para facilitar su transporte, ha sido licuado mediante enfriamiento a aproximadamente una temperatura menor de -161°C a presión atmosférica.

1.1.3 Gas Agrio o Ácido. Gas natural que contiene cantidades significativas de ácido sulfhídrico y CO_2 . El gas agrio se trata usualmente para eliminar los elementos no deseables.

1.1.4 Gas Dulce. Gas natural que contiene menos de 1 gramo de ácido sulfhídrico por 100 pies cúbicos estándar de gas.

1.1.5 Gas Rico. Gas que contiene una cantidad de compuestos más pesados que el etano, alrededor de 0.7 galones de C_3^+ por 1000 pies cúbicos estándar de alimento a una torre absorbadora.

1.1.6 Gas Pobre. Un gas que contiene muy poca cantidad de propano y de compuestos más pesados que el propano, o el gas efluente de una unidad de absorción.

1.1.7 Gas Seco. Son hidrocarburos en estado gaseoso compuestos casi exclusivamente por metano (generalmente más del 90 por ciento). Puede provenir directamente de yacimientos de gas, caso en el cual se le denomina Gas no asociado, o sea hidrocarburos gaseosos que ocurren como gas libre en el yacimiento, o también puede provenir de plantas de gasolina natural, donde el gas húmedo (condensado de gas) ha sido despojado (stripped) de sus productos más pesados en forma líquida.

1.2 PROPIEDADES DEL GAS NATURAL

Las leyes que predicen el comportamiento de gases en términos de presión (P), volumen (V) y temperatura (T) se han conocido por muchos años. Estas

leyes son relativamente simples para un fluido hipotético conocido como gas perfecto o ideal. El conocimiento de las relaciones de presión - volumen - temperatura (PVT) y otras propiedades químicas y físicas de gases es esencial para el desarrollo del gas.

1.2.1 Leyes que gobiernan el comportamiento de mezclas de gases ideales.

1.2.1.1 Ley de Dalton de Presiones Parciales. La presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones ejercida por sus componentes. Para lo cual la presión ejercida por cada uno de los componentes gaseosos es conocida como su presión parcial.

1.2.1.2 Ley de Amagat de Volúmenes Parciales. El volumen total ocupado por una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes que los componentes puros ocuparían a la misma presión y temperatura.

1.3 USOS DEL GAS

El gas natural se utiliza como materia prima o como combustible en los sectores industrial, petroquímico, termoeléctrico, domiciliario, comercial y de transporte terrestre. Sus principales usos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Usos del gas natural

Sector	Usos
Industrial	Refinerías del petróleo; Industria del vidrio; Minas de ferro níquel; industria alimenticia; Hierro y acero; Pulpa y papel; Industria del cemento; Cerámica; Industria textil
Petroquímico	Urea; Alcoholes; etileno; MTBE; ETC; Nitrato de amonio; Aldehídos; Acetileno; Polietileno y muchos otros productos industriales.
Termoeléctrico	Turbogeneradores; Calderas (turbinas a vapor); Plantas de ciclo de combinación; Plantas de cogeneración.
Doméstico y comercial	Cocinas; Secadoras de ropa; Refrigeración y acondicionamiento de aire; Calentadores de agua; Calefacción en restaurantes y hoteles.
Transporte	GNV

El uso del gas natural como combustible en los anteriores sectores, sustituye otros energéticos como: GLP, ACPM, queroseno, fuel oil, crudos pesados y carbón en el área industrial; GLP, queroseno en el sector doméstico y comercial; y gasolina y diesel en el transporte.

1.4 DERIVADOS DEL GAS NATURAL

El gas natural se ha convertido en uno de los insumos de la industria petroquímica moderna. Sus derivados proporcionan una variedad de productos los cuales a través de unos procesos y tratamientos se van

transformando y multiplicando en otros semiproductos o productos que al final todos, en una forma u otra, son parte esencial de todas las actividades cotidianas de la vida moderna¹.

En la figura 1 se presentan los productos derivados a partir del gas natural, los cuales se dividen en cuatro grupos: 1) Derivados del metano, 2) derivados del etano, 3) derivados del propano y 4) derivados del butano. Adicionalmente, en la figura 2 se presentan los derivados del etileno, el cual es la materia prima para producir polietileno, así como los dos tipos de polietileno producidos con sus aplicaciones principales.

¹ www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.html

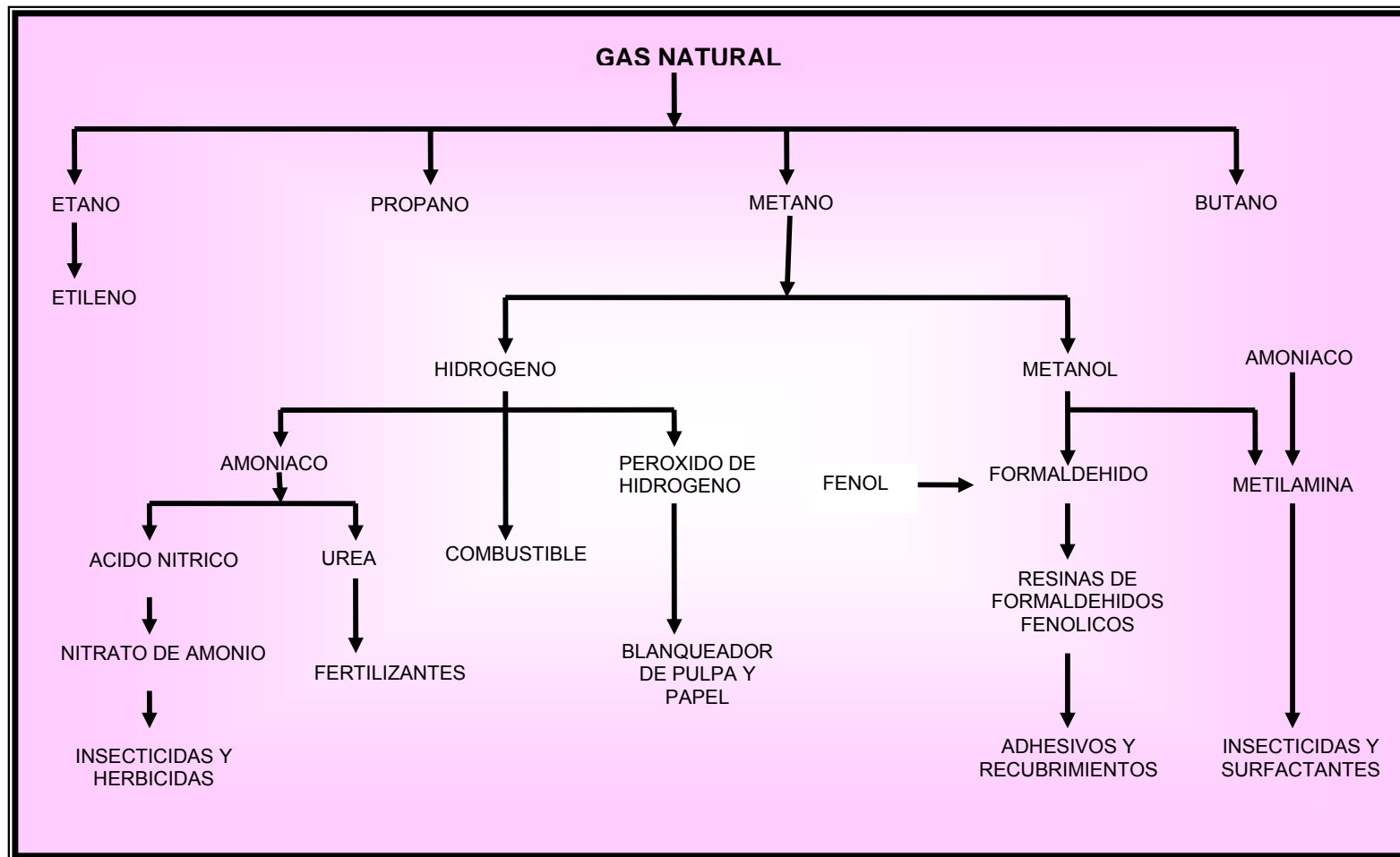


Figura 1. Derivados del Gas Natural

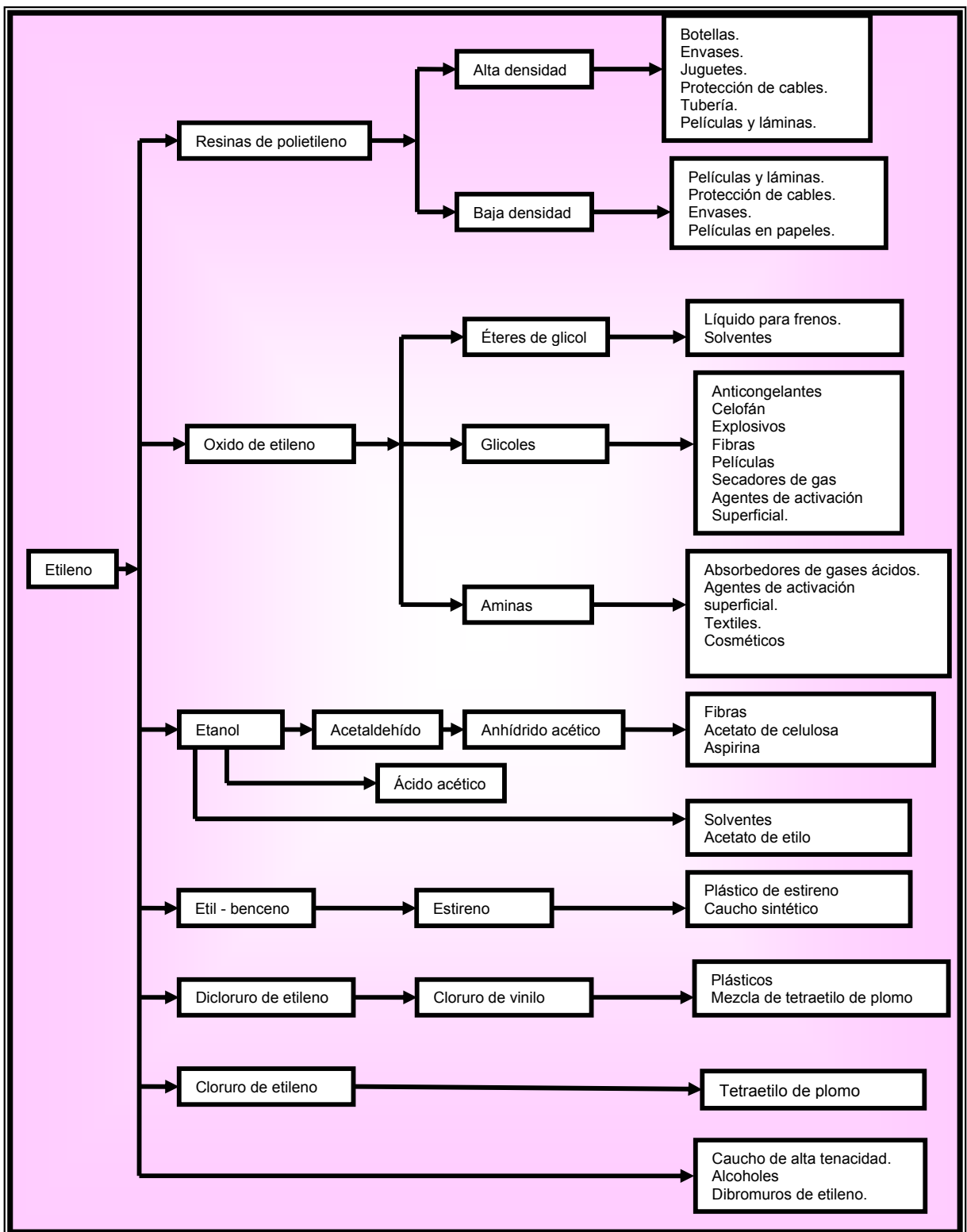


Figura 2. Productos obtenidos a partir del etileno

1.5 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PRODUCTOS OBTENIDOS A PARTIR DEL GAS NATURAL

1.5.1 Metano. El metano es el hidrocarburo parafínico que contiene más átomos de hidrógeno por átomo de carbono. Esta propiedad se aprovecha para obtener el hidrógeno necesario en la fabricación de amoníaco NH₃ y metanol CH₃OH.

El hidrógeno se obtiene catalíticamente, quemando parcialmente el metano en presencia de oxígeno y de vapor de agua, con lo cual se forma una mezcla llamada gas de síntesis compuesta principalmente por monóxido de carbono (CO), bióxido de carbono CO₂ e hidrógeno H₂.

Las principales reacciones que intervienen son las siguientes:

Metano + agua → monóxido de carbono + hidrógeno

Monóxido de carbono + agua → bióxido de carbono + hidrógeno

La figura 3 muestra el proceso para producir gas de síntesis.

También se suele usar el etano, el propano y el butano como materias primas, aunque éstos tienen en sus moléculas menos átomos de hidrógeno por átomo de carbono que el metano. El gas de síntesis se usa principalmente para hacer amoníaco y metanol.

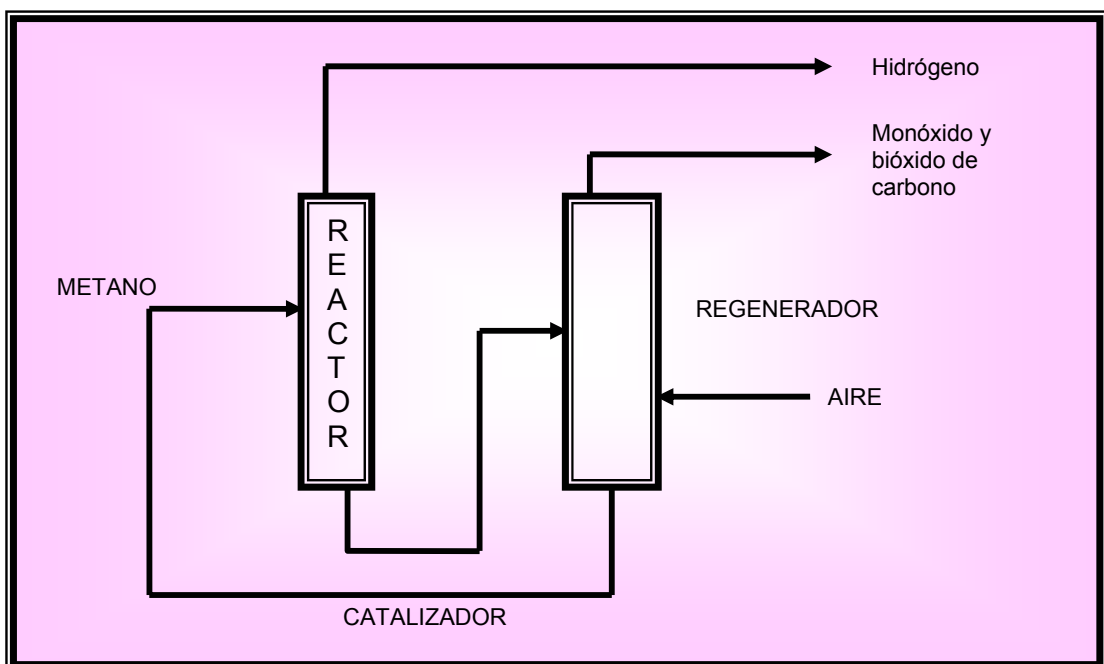
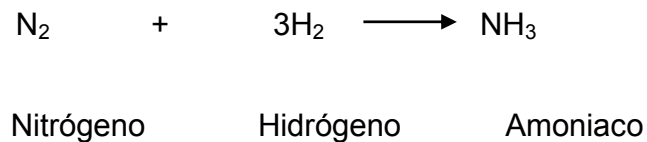


Figura 3. Diagrama del proceso para producir gas de síntesis.

1.5.1.1 Obtención y usos del amoníaco. El amoníaco, cuya fórmula química es NH_3 , se fabrica a partir del nitrógeno del aire y del hidrógeno del metano. Las etapas que constituyen el proceso de fabricación del amoníaco a partir de los compuestos anteriores, son las siguientes:

- destilación del aire
- oxidación parcial del metano con oxígeno
- eliminación del carbono
- conversión del monóxido de carbono con vapor de agua
- eliminación del bióxido de carbono formado
- eliminación del monóxido de carbono por medio de nitrógeno líquido.
- formación de la mezcla nitrógeno + tres partes de hidrógeno.

La reacción para hacer el amoníaco es la siguiente:



Uno de los principales productos secundarios en la fabricación del amoníaco es el bióxido de carbono. Este gas tiene muchas aplicaciones industriales. Por ejemplo, cuando se comprime, el bióxido de carbono se transforma en el hielo seco que se usa como refrigerante en los carritos de helados y paletas.

También encuentra amplia aplicación en la fabricación de agua mineral y de bebidas gaseosas en general. Otros usos de gran importancia son los de la fabricación de productos químicos, entre los que se encuentra el carbonato y el bicarbonato de sodio usado para combatir la acidez estomacal, o para hacer pasteles y otros productos de repostería.

1.5.1.1.1 Usos industriales del amoníaco. La mayor parte del amoniaco se usa para hacer fertilizantes tales como el nitrato de amonio, sulfato de amonio, urea, fosfato de amonio y amoniaco disuelto en fertilizantes líquidos y sólidos.

Otras aplicaciones industriales incluyen la fabricación de reactivos químicos como el ácido nítrico, acrilonitrilo y ácido cianhídrico, que se utilizan para hacer explosivos, plásticos, fibras sintéticas, papel, etc. En algunos refrigeradores caseros el gas de enfriamiento es el amoniaco, aunque el público está más familiarizado con su uso en los artículos de limpieza cuya publicidad destaca el contenido de "amonía" que garantiza la pulcritud de los vidrios, azulejos, pisos, etc.

1.5.2 Etano. El etano tiene un peso molecular de 30.07 lb/lbmol y una entalpía a 120°F de 189 BTU/lb°F. Adicionalmente, presenta una temperatura crítica de 549.8 °R y una presión crítica de 707.8 psia. Es la materia prima para la producción del etileno. Se puede extraer mediante el proceso turbo – expander el cual fue desarrollado en los años 60. Con el proceso se alcanzan temperaturas bastante bajas y por tanto se licua una parte sustancial del etano y componentes más pesados del gas natural. Estos productos son posteriormente recuperados por fraccionamiento.

Las bajas temperaturas se alcanzan por expansión del gas a alta presión, el cual ha sido considerablemente enfriado a través de intercambiadores de calor y por refrigeración como puede verse en la figura 4, y pasa a través de la turbina en la cual se extrae trabajo o energía al gas. De esta forma se logran niveles de temperatura del gas considerablemente más bajos que los que pueden obtenerse en una expansión Joule – Thompson. Una vez que el gas ha sido enfriado y una buena porción de etano y la mayoría del propano y más pesados han sido licuados, los líquidos se separan del gas frío. La corriente de gas del separador intercambia calor con el gas de carga y regresa al compresor movido por la turbina en el cual se restablece parcialmente la presión y va al compresor de gas de venta donde se eleva la presión al nivel requerido para el transporte. Los líquidos condensados se fraccionan en los diferentes productos líquidos mercadeables.

Una característica importante del proceso turbo – expander, es que el vapor de agua en el gas de carga debe haber sido virtualmente removido en su totalidad, debido a las muy bajas temperaturas de operación en este proceso. El alto nivel de deshidratación del gas de carga al turbo – expander, normalmente se consigue con unidades de adsorción con tamiz molecular.

En Colombia se posee una planta de turbo - expansión cuya capacidad de diseño es de 100 MMPCSD. Para un nivel de recuperación de 80% de etanos, 91% de propanos y esencialmente el 100% de los butanos. El etano obtenido en este proceso es la materia prima para la producción de etileno.

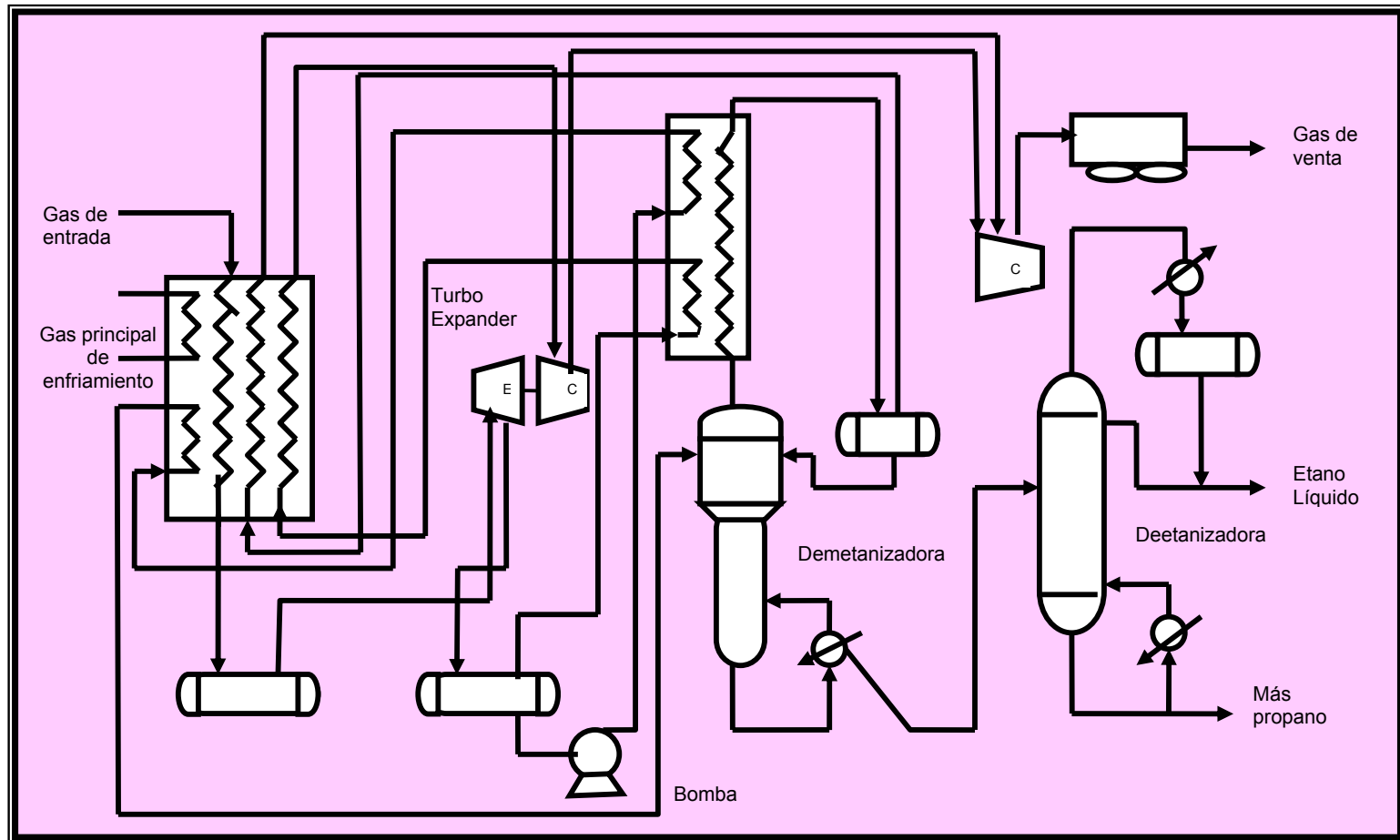


Figura 4. Esquema de una típica planta de turbo- expansión

1.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla compleja de hidrocarburos y no hidrocarburos que existe como un gas bajo condiciones atmosféricas. Los mayores componentes del gas natural son el metano, etano, propano y pequeñas cantidades de butano, pentano y hexano.

En Colombia, como se observa en la tabla 2 se tienen doce campos principales de producción de gas, los cuales se encuentran localizados en cuatro regiones: Costa Atlántica, Santander, Llanos Orientales y en el Huila – Tolima ² de los cuales presentan un contenido de etano superior al 6% los campos de Morichal, Payoa, Provincia, Apiay, Cusiana y El centro – opón. La producción de estos campos es 15 a 20 MPCD de gas Payoa – Provincia y 20 MPCD de gas ELC – Opón y de 80 a 120 MPCD de gas Cusiana.

² www.ecopetrol.com.co/paginas.asp?pub_id=153&cat_idcategoriaprincipal

Tabla 2. Calidad de gases comercializados en Colombia

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	APIAY	CANTAGALLO	CUSIANA 20 M	CUSIANA 50M	CUSIANA (OCENSA)	EL CENTRO - OPON	GUAJIRA COSTA ATLANTICA	GUAJIRA INTERIOR	GUAPAJE
COMPOSICIÓN										
Metano	%	82.295	91.341	76.513	78.800	74.780	92.030	98.000	97.997	96.748
Etano	%	12.440	3.144	11.591	10.004	10.990	6.070	0.249	0.266	0.589
Propano	%	2.190	2.286	4.478	3.939	5.120	0.110	0.054	0.052	0.148
I – butano	%	0.020	0.285	0.729	0.612	0.960	0.010	0.025	0.007	0.069
N – butano	%	0.024	0.745	0.785	0.665	1.270	0.020	0.009	0.007	0.021
I-pentano	%		0.165	0.132	0.134	0.430	0.010	0.008	0.006	0.014
N – pentano	%		0.155	0.079	0.082	0.330	0.000	0.001	0.002	0.004
Hexano	%		0.304	0.048	0.048	0.270	0.000	0.018	0.010	0.051
Heptano	%		0.000			0.220	0.000	0.000	0.025	0.000
Octano	%					0.000				
Nonano	%					0.000				
Decano	%					0.010				
Nitrógeno	%	0.837	1.329	0.430	0.602	0.570	0.840	1.395	1.405	2.308
CO2	%	2.194	0.246	5.234	5.114	5.060	0.790	0.242	0.240	0.047
Oxígeno	%						0.110	0.000		
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
PROPIEDADES										
PESO MOLECULAR		19.13	18.18	21.22	20.75	22.26	17.28	16.36	16.37	16.54
GRAVEDAD ESPECIFICA	-	0.661	0.628	0.733	0.716	0.769	0.597	0.565	0.565	0.571
PODER CALORIFICO BRUTO REAL 14,65 PSI Y 60°F	Btu / pie3	1,107.5	1095.9	1150.0	1124.6	1208.2	1040.2	996.7	997.3	996.1
GPM (80% RECUPERACIÓN DE PROPANO)	Gal/ Kpc	0.65	1.15	1.84	1.62	2.51	0.04	0.03	0.03	0.09

ECOPETROL — GERENCIA DE GAS, Junio de 2004

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	APIAY	CANTAGALLO	CUSIANA 20 M	CUSIANA 50M	CUSIANA (OCENSA)	EL CENTRO - OPON	GUAJIRA COSTA ATLANTICA	GUAJIRA INTERIOR	GUAPAJE
COMPOSICIÓN										
Metano	%	82.295	91.341	76.513	78.800	74.780	92.030	98.000	97.997	96.748
Etano	%	12.440	3.144	11.591	10.004	10.990	6.070	0.249	0.266	0.589
Propano	%	2.190	2.286	4.478	3.939	5.120	0.110	0.054	0.052	0.148
I – butano	%	0.020	0.285	0.729	0.612	0.960	0.010	0.025	0.007	0.069
N – butano	%	0.024	0.745	0.785	0.665	1.270	0.020	0.009	0.007	0.021
I-pentano	%		0.165	0.132	0.134	0.430	0.010	0.008	0.006	0.014
N – pentano	%		0.155	0.079	0.082	0.330	0.000	0.001	0.002	0.004
Hexano	%		0.304	0.048	0.048	0.270	0.000	0.018	0.010	0.051
Heptano	%		0.000			0.220	0.000	0.000	0.025	0.000
Octano	%					0.000				
Nonano	%					0.000				
Decano	%					0.010				
Nitrógeno	%	0.837	1.329	0.430	0.602	0.570	0.840	1.395	1.405	2.308
CO2	%	2.194	0.246	5.234	5.114	5.060	0.790	0.242	0.240	0.047
Oxígeno	%						0.110	0.000		
		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
PROPIEDADES										
PESO MOLECULAR		19.13	18.18	21.22	20.75	22.26	17.28	16.36	16.37	16.54
GRAVEDAD ESPECIFICA	-	0.661	0.628	0.733	0.716	0.769	0.597	0.565	0.565	0.571
PODER CALORIFICO BRUTO REAL 14,65 PSI Y 60°F	Btu / pie3 5	1,107.	1095.9	1150.0	1124.6	1208.2	1040.2	996.7	997.3	996.1
GPM (80% RECUPERACIÓN DE PROPANO)	Gal/ Kpc	0.65	1.15	1.84	1.62	2.51	0.04	0.03	0.03	0.09

ECOPETROL — GERENCIA DE GAS, Junio de 2004

2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE OBTENCIÓN DE PRODUCTOS INTERMEDIOS PETROQUIMICOS Y TECNOLOGIAS DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO

La petroquímica comprende la elaboración de todos aquellos productos químicos que se derivan de los hidrocarburos del petróleo y el gas natural. Por lo general el término no incluye los hidrocarburos combustibles, lubricantes, ceras ni asfaltos.

Los petroquímicos no se consideran como un tipo o clase particular de productos químicos, ya que muchos de ellos han sido y continúan siendo fabricados con otras materias primas. Por ejemplo, el benceno, el metanol y el acetileno se pueden producir a partir del carbón de hulla. El glicerol se obtiene de las grasas, el etanol por fermentación de la caña de azúcar, el azufre de los depósitos minerales. Sin embargo, todos ellos también se producen a partir del petróleo y en grandes volúmenes.

La importancia de la petroquímica estriba en su capacidad para producir grandes volúmenes de productos a partir de materias primas abundantes y a bajo precio.

2.1 OBTENCION DE MATERIAS PRIMAS PETROQUÍMICAS

La industria petroquímica emplea ante todo como materias primas básicas las olefinas y los aromáticos obtenidos a partir del gas natural y de los productos de refinación del petróleo: el etileno, propileno, butilenos, y algunos pentenos entre las olefinas, y el benceno, tolueno y xilenos como hidrocarburos aromáticos.

Sin embargo, en algunos casos, la escasa disponibilidad de estos hidrocarburos debido al uso alterno que tienen en la fabricación de gasolina de alto octanaje ha obligado a la industria a usar procesos especiales para producirlos. Si se desea producir petroquímicos a partir de los hidrocarburos vírgenes obtenidos en el petróleo, es necesario someterlos a una serie de reacciones, según las etapas siguientes:

- 1 Transformar los hidrocarburos vírgenes en productos con una reactividad química elevada, por ejemplo: El etano, propano, butanos, pentanos, hexanos, etc., son parafinas que contiene el petróleo, y convertirlos en etileno, propileno, butilenos, butadieno, isopreno y aromáticos.

- 2 Incorporar a las olefinas y a los aromáticos obtenidos en la primera etapa otros heteroátomos tales como el cloro, el oxígeno, el nitrógeno, etc., obteniéndose así productos intermedios de segunda generación. Es el caso del etileno, que al reaccionar con oxígeno produce acetaldehído y ácido acético.

- 3 Efectuar las operaciones que se requieran para formar productos específicos. Un ejemplo de esto son los poliuretanos, que pueden usarse para hacer colchones de cama, salvavidas, o corazones artificiales. Las resinas acrílicas pueden servir para hacer alfambras, plafones para las lámparas, prótesis dentales y pinturas.

Otro caso es el acetaldehído que se produce oxidando etileno y que encuentra aplicación como solvente de lacas y resinas sintéticas, en la fabricación de saborizantes y perfumes, en la manufactura de pieles artificiales de tintas, cementos, películas fotográficas y fibras como el acetato de celulosa y el acetato de vinilo. Otros productos petroquímicos básicos que no son hidrocarburos son el negro de humo y el azufre. Estos pueden obtenerse del gas natural y del petróleo.

2.1.1 Proceso de obtención de olefinas. Las olefinas son hidrocarburos acíclicos insaturados³. En los países donde existen yacimientos ricos en gas natural, el etileno y el propileno se pueden obtener por medio de un proceso de desintegración térmica, usando como carga el propano y butano contenido en dicho gas. Si no se dispone de grandes cantidades de propano y butano, entonces se usa el etano como carga en el proceso de desintegración. En este caso los principales productos son el etileno, el metano y el hidrógeno.

Colombia es uno de los países que cuenta con la infraestructura para la obtención del etano del gas natural con el objeto de utilizarlo como carga en la unidad de desintegración térmica y obtener etileno, metano e hidrógeno. En la mayor parte de los países europeos el proceso de obtención de las olefinas consiste en alimentar con hidrocarburos más pesados a las desintegradoras térmicas. La carga más utilizada en las refinerías de Europa es nafta o gasolina pesada la cual es un producto de la destilación primaria, y cuyas moléculas contienen de cinco a doce átomos de carbono. A veces se usan fracciones aún más pesadas como los gasóleos.

³ www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.html

El aprovechamiento de las fracciones líquidas, procura una serie de olefinas como el etileno, propileno, butano e isopentenos. También se forman diolefinas como el butadieno y el isopreno.

Colombia utiliza como carga a las Unidades de Ruptura Catalítica Gasóleo, crudo reducido Cusiana, Aceite desmetalizado y aceite desmetalizado hidrodesulfurizado. Así por ejemplo, cuando se tiene una carga de 88, 5 KBPD a las unidades de ruptura catalítica distribuida de la siguiente manera: 56 KBPD de gasóleo, 3500 BPD de DMO, 24.1 KBPD de DMOH y 4.9 KBD de Crudo Cusiana y según las condiciones de severidad operacional, se puede obtener un 4% en volumen de etano -etileno, 26 % de GLP, 58 % de gasolina de alto octanaje (RON 93 -94), 16% de ALC y 11% de Slurry. Las olefinas aquí formadas son separadas por medio de unas columnas de destilación.

2.1.1.1 Obtención del etileno. El etileno es el principal producto de los productos petroquímicos. Se obtiene líquido de los líquidos del gas natural, de las naftas, de los gasóleos y del metano. La preferencia de estas fuentes depende de las posibilidades y confiabilidad del suministro y del precio. El aumento de la capacidad mundial de instalaciones de etileno ha sido sostenido.

En Colombia, ECOPETROL posee una única planta de producción de etileno con una capacidad de diseño de 100000 ton/año de etileno, sobre una base de operación de 330 días. La unidad fue diseñada para producir etileno a través de la reacción térmica de pirólisis cuyo objetivo es la obtención de alquenos inferiores. La operación se realiza a 700... 1555°C a una presión próxima a la atmosférica. La materia prima para la producción del etileno es el etano. El rendimiento de etileno en este caso alcanza un 80% (en masa). Una cantidad considerable de etileno se obtiene también en la pirólisis del propano; hasta 47% (en masa) y del butano un 45% (en masa). La unidad cuenta con 4 hornos que son capaces de procesar etano y etano /propano, cuando el craqueo es etano el horno está diseñado para dar un 60% de conversión a etileno.

Las reacciones que se desarrollan en los hornos de pirólisis, transforman el etano entrante en una variedad de productos que van desde el hidrógeno y el metano hasta los aromáticos pesados. Además de la carga de etano a pirólisis, se tienen tres cargas adicionales de una mezcla de etano –etileno correspondiente a las corrientes de las cargas de unidades de ruptura catalítica UOPI, UOP II y Orthoflow. El propósito de las secciones de la planta que siguen a los hornos, es el de separar los productos y los subproductos como son el hidrógeno, el propano, el butano, pentanos y más pesados. El proceso de obtención de etileno se ilustra en la figura 5.

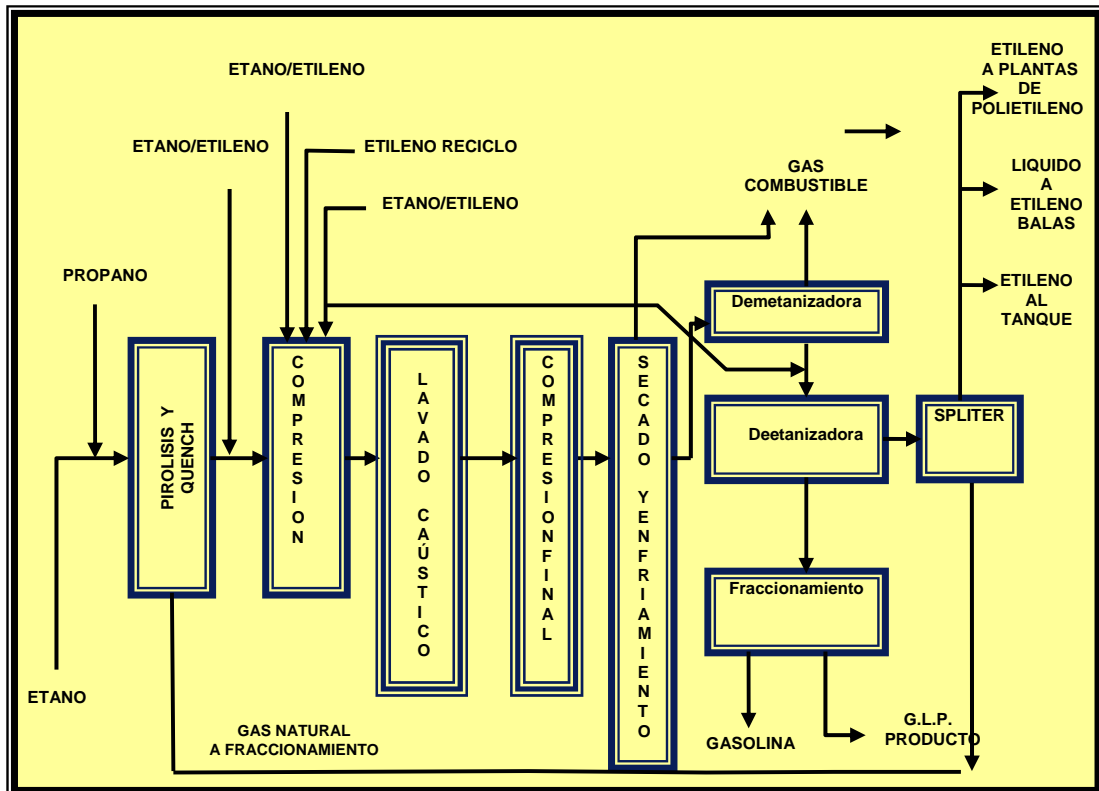


Figura 5. Proceso de obtención del etileno

En esta figura se puede observar como los gases provenientes del proceso de craqueo térmico se introducen después de un proceso de compresión a la primera columna de destilación llamada demetanzadora, en donde se extrae el hidrógeno y el metano por la parte superior. Los productos que salen del fondo se hacen pasar por una segunda columna llamada deetanizadora, en donde se separa el etano y el etileno por la cima para separarlos en una tercera columna. Adicionalmente, en la deetanizadora, se separa el etileno y el etano de los propanos y demás pesados. El producto de cima que es etano – etileno se envía a la torre separadora etano – etileno la cual trabaja a

una presión aproximada de 280 psig en un rango de temperatura de 21°F hasta -23°F. El producto de fondo de la torre deetanizadora la cual contiene los propanos y los más pesados se alimenta a la torre desbutanizadora cuya función es separar los propanos y los butanos de los pentanos y más pesados (gasolinas). El producto de cima es etileno y el producto de fondo es etano, el cual retorna para mezclarse con el etano de carga y reaccionar en los hornos de pirólisis.

En las unidades de ruptura catalítica por el fondo de la depropanizadora se extrae la fracción que contiene olefinas con cuatro átomos de carbono en adelante. Esta fracción se somete a otras separaciones para eliminar de la fracción el butano y retirar los productos más pesados que fueron arrastrados como son los pentanos, pentenos, benceno, tolueno, etc. (Todos ellos líquidos). Los productos como los butenos, isobutenos, butano, isobutano, butadieno e isopreno son obtenidos por otros procesos de fraccionamiento.

2.1.1.2 Obtención de hidrocarburos aromáticos. Los aromáticos que representan una mayor importancia industrial son: el benceno, el tolueno y los xilenos. Para poder obtenerlos se debe hacer un proceso de desintegración catalítica, cuya materia prima es la gasolina natural o nafta

pesada, cuyo alto contenido de parafinas lineales y cíclicas (naftenos) constituye el precursor de los aromáticos. El proceso utilizado es el platformado catalítico en el cual se utiliza como catalizador platino soportado sobre alúmina. Los productos líquidos de la reacción se someten a procesos en donde se separan los aromáticos del resto de los hidrocarburos. Para separar los aromáticos entre sí, se puede utilizar cualquiera de los métodos siguientes: a) destilación azeotrópica, b) destilación extractiva, c) extracción con solvente, d) adsorción sólida, y e) cristalización.

2.1.1.3 Obtención del negro de humo. El negro de humo es otra materia petroquímica. Básicamente es carbón puro con una estructura muy semejante a la del grafito. El tamaño de las partículas en el negro de humo es lo que determina su valor. Entre más pequeñas sean, más caro será el producto. Varían desde 10 hasta 500 milimicra (milésima parte de una micra que a su vez es la milésima parte de un milímetro).

Los hidrocarburos que se utilizan como carga son desde gasóleos hasta residuos pesados. En general, estas cargas deben tener un alto porcentaje de aromáticos pesados o poliaromáticos, y un bajo contenido de azufre. Además deben producir un mínimo de ceniza mineral. El negro de humo contiene de 88 a 99.3% de carbono, 0.4 a 0.8% de hidrógeno, y 0.3 a 17%

de oxígeno. El negro de humo se usa en el hule de las llantas, en la fabricación de tintas, lacas, pinturas, en cierto tipo de polietileno. También se emplea el negro de humo para la fabricación de diamantes artificiales y para sembrar las nubes a fin de provocar lluvia.

2.2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS INTERMEDIOS DE LA PETROQUÍMICA

Los procesos descritos a continuación describen los productos petroquímicos secundarios derivados del etileno que es la materia prima en la producción del polietileno.

2.2.1 Productos derivados del etileno. El etileno C_2H_4 es una olefina que sirve como materia prima para obtener una enorme variedad de productos petroquímicos. La doble ligadura olefínica que contiene la molécula nos permite introducir dentro de la misma muchos tipos de heteroátomos como el oxígeno para hacer óxido de etileno, el cloro que nos proporciona el dicloroetano, el agua para darnos etanol, etc. Asimismo permite unir otros hidrocarburos como el benceno para dar etilbenceno, y otras olefinas útiles

en la obtención de polímeros y copolímeros del etileno. La figura 6 ilustra alguno de los derivados del etileno.

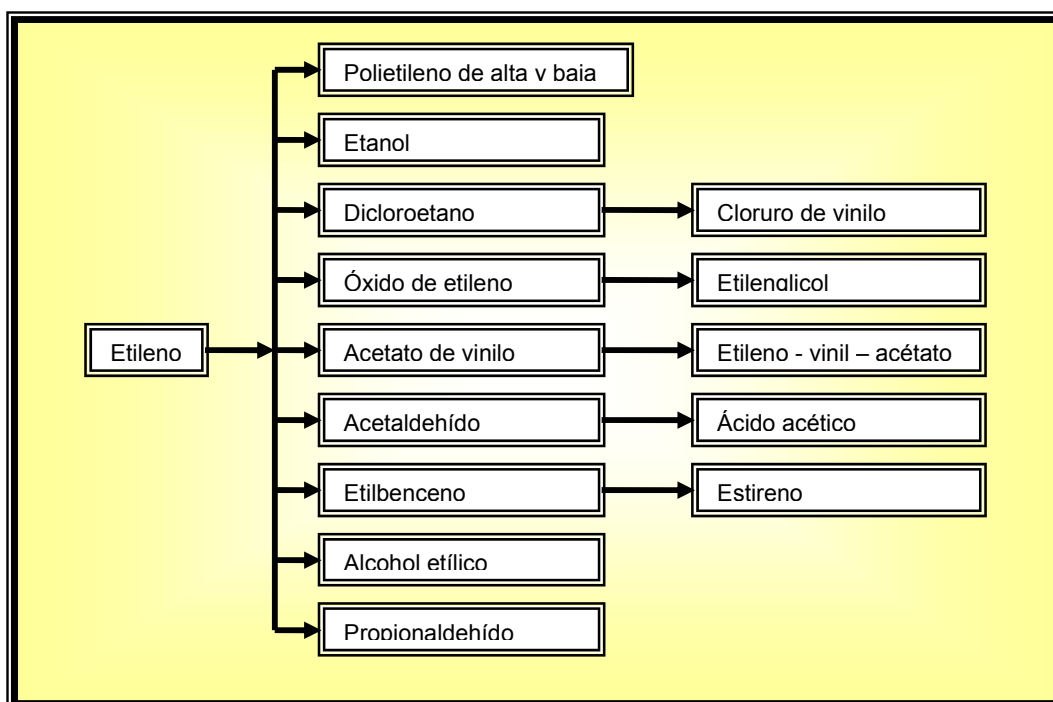


Figura 6. Principales derivados del etileno

2.2.1.1 Oxido del etileno. El etileno reacciona con el oxígeno en fase gaseosa y en presencia de un catalizador. La reacción se lleva a cabo en fase gaseosa haciendo pasar el etileno y el oxígeno a través de una columna empacada con un catalizador a base de sales de plata dispersas en un soporte sólido.

El óxido de etileno se usa para madurar las frutas, como herbicida y como fumigante, y sus aplicaciones como materia prima petroquímica son innumerables, siendo algunos de sus derivados el etilenglicol, polietilenglicol, los éteres de glicol, las etanolaminas, etc.

Los principales usos de los productos últimos de los derivados del óxido de etileno son: anticongelantes para los radiadores de autos, fibras de poliéster para prendas de vestir, polímeros usados en la manufactura de artículos moldeados, solventes y productos químicos para la industria textil. También se utiliza el óxido de etileno en la producción de poliuretanos para hacer hule espuma rígido y flexible (el primero se usa para hacer empaques y el otro para colchones y cojines). Otro uso de los derivados del óxido de etileno lo constituye la fabricación de adhesivos y selladores que se emplean para pegar toda clase de superficies como cartón, papel, piel, vidrio, aluminio, telas, etc.

2.2.1.2 Acetaldehído. El proceso consiste en hacer reaccionar el etileno con una solución diluida de ácido clorhídrico que además contiene disueltos cloruros de paladio y de cobre, los cuales actúan como catalizadores. La regeneración del catalizador se lleva a cabo en presencia de oxígeno. El acetaldehído es un intermediario muy importante en la fabricación de ácido

acético y del anhídrido acético. Estos productos encuentran una enorme aplicación industrial como agentes de acetilación para la obtención de ésteres, que son compuestos químicos que resultan de la reacción de un alcohol, fenol, o glicol con un ácido. Algunos de los ésteres que se derivan del ácido acético y los alcoholes apropiados son los llamados acetatos de metilo, etilo, propilo, isopropilo, isobutilo, amilo, isoamilo, n-octílo, feniletilo, etc. Adicionalmente, son productos de olor agradable y se usan como saborizantes y perfumes. En la tabla 3 se describe los olores que despiden algunos de los ésteres fabricados con ácido acético.

Tabla 3. Olor de los esteres fabricados con ácido acético

Nombre químico del éster	Olor
Acetato de amilo	Plátanos
Acetato de isoamilo	Peras
Acetato de n – octilo	Naranjas
Acetato de feniletilo	Rosas

Los ésteres derivados del ácido acético también sirven como solventes para extraer la penicilina y otros antibióticos de sus productos naturales. También

se emplean como materia prima para la fabricación de pieles artificiales, tintas, cementos, películas fotográficas y fibras sintéticas como el acetato de celulosa y el acetato de vinilo.

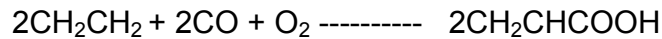
El acetaldehído no sólo sirve para fabricar ácido acético, sino que también es la materia prima para la producción de un gran número de productos químicos como el 2-etilhexanol, n-butanol, pentaeritrol, cloral, ácido cloroacético, piridinas, y ácido nicotínico. Estos petroquímicos secundarios encuentran múltiples aplicaciones. Por ejemplo, el pentaeritrol sirve para fabricar lubricantes sintéticos, el cloral y el ácido cloroacético para hacer herbicidas, el 2-etilhexanol para hacer plastificantes.

2.2.1.3 Acetato de Vinilo. Es producido a partir del etileno y el ácido acético mediante procesos de oxidación catalítica en fase líquida o vapor. La reacción en fase vapor es mucho más económica.



El acetato de vinilo es un monómero versátil usado para producir acetato de polivinilo y copolímeros de Vinil – acetato (60%), alcohol polivinílico (25%) y otros polímeros (15%).

2.2.1.4 Ácido acrílico. El ácido acrílico puede ser producido a partir el etileno por carbonización oxidativa con monóxido de carbono y oxígeno en un sistema catalítico paladio – cobre.



El ácido acrílico y sus ésteres son usados para elaborar fibras acrílicas y plásticos.

2.2.1.5 Dicloroetano. El etileno reacciona con el cloro cuando se encuentra en presencia de un catalizador de cloruro férrico y una temperatura de 40-50 °C y 15 atmósferas de presión. Se utiliza en la fabricación de cloruro de vinilo que sirve para hacer polímeros usados para cubrir los asientos de automóviles y muebles de oficina, tuberías, recubrimientos para papel y materiales de empaque, fibras textiles, etc. El dicloroetano también se utiliza para fabricar solventes como el tricloroetileno, el percloroetileno y el metilcloroformo, que se usan para desengrasar metales y para el lavado en seco de la ropa.

Otras de las múltiples aplicaciones del dicloroetano son la fabricación de cloruro de etilo, tetraetilo de plomo (TEP), etilendiamina y otros productos

aminados. En el terreno de la medicina, el dicloroetano sirve como solvente para la extracción de esteroides.

2.2.1.6 Etilbenceno. El etilbenceno se puede obtener por medio de dos procedimientos: extracción de los aromáticos de las reformadoras, y síntesis a partir del etileno con benceno. La reacción del etileno con benceno para obtener etilbenceno se lleva a cabo en presencia de catalizadores a base de ácido fosfórico adsorbido en arcilla. El etilbenceno se usa casi exclusivamente para hacer estireno, que a su vez es la materia prima para hacer plásticos de poliestireno. Este producto se usa para fabricar artículos para el hogar, tales como las cubiertas de los televisores, licuadoras, aspiradoras, secadores de pelo, radios, muebles, juguetes, vasos térmicos desechables, etc. También se emplea para empaques y materiales de construcción.

El estireno, al copolimerizarse con otros reactivos como el butadieno y el acrilonitrilo, se convierte en los hules sintéticos llamados SBR (hule estireno-butadieno), o las resinas ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno).

2.2.1.7 Alcohol etílico o etanol. Una de las reacciones de gran importancia industrial es la hidratación del etileno para la obtención de alcohol etílico o etanol. Esta reacción se puede hacer de dos maneras. 1) Agregarle agua a las moléculas de etileno en presencia de ácido sulfúrico de 90%, y 2) usar un proceso de alta presión que emplea un catalizador sólido de ácido fosfórico soportado sobre celite.

El primer proceso se desarrolló en 1930 y continúa usándose en la actualidad. La tecnología del segundo proceso la introdujo la Shell y se usa principalmente en Estados Unidos y en algunos países de Europa. El alcohol etílico es el producto básico de las bebidas alcohólicas, como el brandy, el ron, el coñac, vino tinto y blanco, etc., aunque éstos se obtienen por fermentación de los azúcares contenidos en la caña de azúcar o de frutas como la uva. Adicionalmente, sirve para usos farmacéuticos y se encuentra gran aplicación como solvente industrial, en los saborizantes, cosméticos y en la fabricación de detergentes.

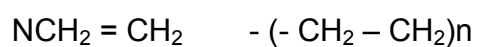
2.2.1.8 Propionaldehído. La reacción de hidroformilación sirve para obtener aldehídos que contienen un átomo de carbono más que la olefina original. En el caso del etileno, el producto de la reacción es el propionaldehído que tiene tres átomos de carbono en su molécula. Este

producto se obtiene industrialmente, haciendo reaccionar el etileno con gas de síntesis (hidrógeno + monóxido de carbono). Es la materia prima básica para la fabricación de n-propanol y del ácido propiónico, cuyos usos se describen a continuación:

N - propanol → Producción de herbicidas, solventes.

Ácido propiónico → preservativo de granos, herbicidas, plásticos de celulosa.

2.2.1.9 Polietileno. Se denomina polietileno a cada uno de los polímeros del etileno. El polietileno está constituido por macromoléculas de compuestos orgánicos obtenidos sintéticamente⁴. Pertenecen al grupo de los termoplásticos; sus átomos están unidos en estructuras largas lineales o poco ramificadas cuya fórmula empírica y de reacción de formación precede con la ecuación:



Las propiedades del polietileno dependen del grado de cristalinidad, que es determinada por el grado total de ramificación a lo largo de la molécula del polietileno.

⁴ www.mp.mx/publicaciones/prospectiva/prosp_c07.pdf

Las resinas se utilizan en la fabricación posterior de bienes de consumo, como pueden ser películas, envases, botellas (por ejemplo, de leche y agua), bolsas de plástico, tuberías de agua y gas, aislamiento para alambres y cables, productos moldeados y otros usos finales.

En las resinas de polietileno se pueden identificar tres familias principales con propiedades y características diversas: polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). En cada una de estas tres familias hay diversos grados producidos al variar las condiciones de polimerización en el reactor (catalizador, temperatura y presión) o utilizar diversos aditivos⁵.

2.2.1.9.1 Polietileno de baja densidad (LDPE). Se fabrica mediante procesos de alta presión, es decir, en autoclave de alta presión o reactores tubulares por la polimerización de radical libre. Los procesos tienen lugar, por lo general, a presiones de hasta 3000 bares y temperaturas superiores a 200°C con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismos de radicales libres. Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características

⁵ www.ucm.es7BUCM/be/legis/doce/es/main/dat/2001/I_245/I_2450010914es00010025.pdf

y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías.

2.2.1.9.2 Polietileno de alta densidad (HDPE). Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Se obtiene por polimerización del etileno a presiones relativamente bajas (1- 200 atmósferas), con catalizador alquilmetálico (catálisis de Ziegler) o un óxido metálico sobre sílice o alúmina (procesos Phillips y Standard Oil). Se fabrica mediante procesos de baja presión, es decir, procesos de fase gaseosa, de solución y Slurry.

Su resistencia química y térmica, así como su opacidad, impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad. Se emplea en la construcción y también para fabricar prótesis, envases, bombonas para gases y contenedores de agua y combustible. El HDPE

2.2.1.9.3 Polietileno Lineal de baja densidad (LLDPE). Se desarrolló como proceso alternativo de baja presión a los procesos de LDPE de alta presión. Se obtiene polimerizando el etileno con un alqueno (especialmente 1-buteno) a baja presión, en disolución, suspensión o fase gaseosa y en presencia de catalizadores. Se trata de un polímero con ramificaciones muy

cortas y uniformes que hacen que su temperatura de fusión y su resistencia a la tracción y al agrietamiento sean superiores a las del polietileno de baja densidad. En la familia del LLDPE se pueden distinguir tres grupos distintos dependiendo del copolímero utilizado en el proceso de fabricación: el LLDPE C4 (que utiliza butano como copolímero), el LLDPE C6 (que utiliza hexeno como copolímero) y el LLDPE C8 (que utiliza octeno como copolímero). Se utiliza en el recubrimiento de cables y en la fabricación de objetos moldeados por extrusión o soplado.

2.3 EL POLIETILENO - PROCESOS DE PRODUCCIÓN

La producción de resinas de polietileno requiere la combinación de la tecnología de proceso como del catalizador (iniciador) utilizado. Todos los productores o el productor potencial de resinas de polietileno pueden optar por desarrollar su propia tecnología o hacerse con la licencia de una empresa que posea la tecnología requerida⁶.

No todas las tecnologías están autorizadas, ya que algunos propietarios prefieren aprovecharlas por sí mismos. Adicionalmente, otros factores, como

⁶ www.mp.mx/publicaciones/prospectiva/prosp_c07.pdf

cuanto mayor sea la participación en el mercado del licitante en relación con los productos fabricados utilizando la tecnología, mayor es la probabilidad de que el propietario de la tecnología prefiera explotarla por si mismo. Los clientes de la tecnología del polietileno adquieren un paquete, que les permite construir y explotar una unidad de producción empleando las patentes y el know how específico del licitante. El paquete incluye también el derecho a utilizar ciertos catalizadores con la tecnología de proceso, en su caso, y puede incluir acuerdos de suministro de catalizadores o una licencia para fabricarlos. El licenciador suele dar garantías de rendimiento.

Las tecnologías de proceso para la fabricación de polietileno pueden dividirse en procesos de alta presión, que se utilizan casi exclusivamente para la fabricación de polietileno de baja densidad LDPE, y procesos de baja presión, empleados para la fabricación de polietileno lineal de baja densidad LLDPE y de alta densidad HDPE⁷. Los procesos de alta presión pueden subdividirse a su vez en procesos tubulares y de autoclave. En los procesos de alta presión no se emplea catalizador sino que se utilizan iniciadores (peróxidos, etc.) para empezar la reacción de polimerización.

⁷ www.ucm.es7BUCM/be/legis/doce/es/main/dat/2001/I_245/I_2450010914es00010025.pdf

Las tecnologías de baja presión se dividen en procesos de fase gaseosa, de solución y de Slurry. Además haya varios procesos híbridos, que utilizan más de un reactor y a veces más de un proceso. Todos estos procesos pueden utilizarse para la producción tanto de polietileno de alta densidad como polietileno lineal de baja densidad. Sin embargo, los procesos de solución se utilizan para producir polietileno lineal de baja densidad y suelen ser los únicos capaces de producir polietileno lineal de baja densidad LLDPE C8. Los procesos de Slurry se utilizan, por lo general, para producir polietileno de alta densidad HDPE, mientras que los de fase gaseosa se emplean para producir tanto polietileno de alta densidad HDPE como C4 y C6 LLDPE. Los nuevos avances que se han hecho en procesos y catalizadores están permitiendo lograr gamas más amplias de densidades tanto mediante los procesos de Slurry como de solución. En los procesos de baja presión los catalizadores utilizados pueden dividirse en convencionales (Ziegler/Natta y cromo) y catalizadores single – site (incluido metaloceno).

2.3.1 Procesos de baja presión. Se puede distinguir entre tres procesos de baja presión. Las características físicas del equipo son muy diferentes y cada proceso tiene sus propias especificidades.

2.3.1.1 El proceso solución. Se puede emplear para fabricar el polietileno lineal de baja densidad LLDPE. Es el único proceso para la producción de LLDPE C8. El proceso de polimerización tiene lugar en solución, de forma que al producirse la resina se disuelve en un disolvente orgánico. En una segunda fase la resina se recupera por evaporación total del disolvente. Dos son, por lo tanto, las fases en la producción de resinas de polietileno mediante los procesos de solución. El catalizador es adicionado a la corriente de alimentación y la reacción tiene lugar a una presión intermedia y a una temperatura relativamente alta. Una solución de polímero fundido es continuamente descargada en el reactor y despresurizada para separar el solvente del polímero fundido el cual es alimentado a un extrusor en donde es peletizado en gránulos.

2.3.1.2 El proceso Slurry. Se utiliza fundamentalmente para fabricar polietileno de alta densidad HDPE, aunque también LLDPE. En este proceso la polimerización tiene lugar en un líquido inerte (que no interviene en la reacción y no disuelve la resina). La resina de polietileno se forma por dispersión en el líquido y ha de ser separada físicamente del medio líquido en una segunda fase. Las películas de polietileno son recogidas, extraídas y peletizadas en gránulos. Al utilizar un proceso de Slurry resulta comparativamente rápido, fácil y barato cambiar la calidad o el tipo de resina.

2.3.1.3 Los procesos fase gaseosa. Pueden utilizarse para fabricar tanto polietileno de alta densidad HDPE como polietileno lineal de baja densidad LLDPE C4 y C6. La polimerización tiene lugar en un recipiente cerrado y el polímero se extrae continuamente de un lecho fluidizado en el reactor. No se requiere segunda fase alguna. La producción de las instalaciones de fase gaseosa puede pasar del polietileno lineal de baja densidad LLDPE al polietileno de alta densidad HDPE, es decir, éstas se pueden diseñar de tal forma que pueden cambiar su producción. Las instalaciones de fase gaseosa funcionan mejor en condiciones constantes y productividades elevadas de productos a granel. Las mayores instalaciones de producción de polietileno son las plantas de fase gaseosa, que pueden tener capacidades de hasta 700000 toneladas al año. Los costes de capital por tonelada de capacidad de las plantas de fase gaseosa para la producción tanto de polietileno de alta densidad HDPE como de polietileno lineal de baja densidad LLDPE son más bajos que los de otros procesos. Cada uno de los procesos tiene sus ventajas e inconvenientes específicos.

El proceso de fase gaseosa se adapta especialmente a la producción de grandes volúmenes de productos a granel (HDPE y LLDPE C4 y C6) y tiene costes de inversión bajos. El proceso de Slurry ofrece un alto grado de flexibilidad entre la producción de polietileno de alta densidad, por una parte, y los diversos LLDPE C4 y C6. Por otra parte, mientras que el de solución

ofrece la única posibilidad de fabricar LLDPE C8. Por tanto, una vez que un licenciataro potencial ha identificado el mercado o mercados que se propone establecer, ya se ha decantado en gran medida por una opción tecnológica.

2.3.2 Proceso de alta presión. El polietileno de baja densidad (LDPE) convencional es manufacturado a alta presión por cualquiera de los dos reactores de proceso el autoclave o el tubular. El esquema de proceso es similar excepto por el tipo de reactor.

2.3.2.1 Reactor autoclave. El “autoclave” es una vasija de reacción agitada que generalmente opera a una presión de 2000 bar. El proceso autoclave es capaz de manufacturar todos los grados de polietileno de baja densidad y pueden también producirse copolímeros tales como EVA con un alto contenido de Vinil acetato. Las tasas de manufacturación están por encima de 120000 tpy por reactor.

2.3.2.2 Reactor tubular. El reactor tubular es una tubería larga empaquetada. Los reactores tubulares modernos operan a una presión por encima de los 3000 bar y usa peróxidos orgánicos como iniciadores para mejorar las propiedades del producto. El reactor tubular es capaz de

manufacturar todos los grados de polietileno de baja densidad y puede producir copolímeros como el EVA con un bajo contenido de acetato de vinilo. Las plantas de reactores tubulares pueden ser diseñadas para manufacturar por encima de 300000 tpy por reactor y las expectativas es que ellas llegarán a alcanzar las 400000 tpy en los próximos años.

2.4 TECNOLOGIAS DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO

2.4.1 Tecnología de solución y de Slurry de baja presión. Ni DOW ni UCC otorgan a terceros licencias para los paquetes de tecnología de solución o de Slurry de baja presión.

2.4.1.1 Tecnología para producir polietileno lineal (LPE) (Licenciador Chevron Chemical Co., LP). Un rango de resinas de polietileno son producidas con un melt index mayor de 50 MI, densidades de 0.920 – 0.970 gr/cc⁸.

⁸ IAN GREEN, SembCorp Simon - Carves. Polyethylene production. Petrochemical Processes. Hydrocarbon Engineering. 2003. 65p.

El melt index y el peso molecular son controlados por el catalizador y las condiciones de operación. La densidad es controlada por la incorporación de un comonomero (1- hexeno). La alta actividad del catalizador elimina la necesidad de remover el catalizador.

El etileno, isobutano, comonomero y el catalizador son continuamente alimentados al loop reactor en donde la polimerización ocurre a temperaturas menores de 100°C, presiones aproximadas a 40 Kg/cm² y un tiempo de residencia aproximado de 1 hora. La conversión de etileno excede el 97% por paso. El efluente del reactor es falseado para separar la corriente gaseosa de los sólidos.

El polietileno pulverizado es purgado con nitrógeno para remover las trazas de hidrocarburos y transportarla neumáticamente al área de extrusión para su estabilización y peletización. La corriente gaseosa es comprimida, purificada y reciclada la reactor. En la figura 7 se puede observar un esquema del proceso.

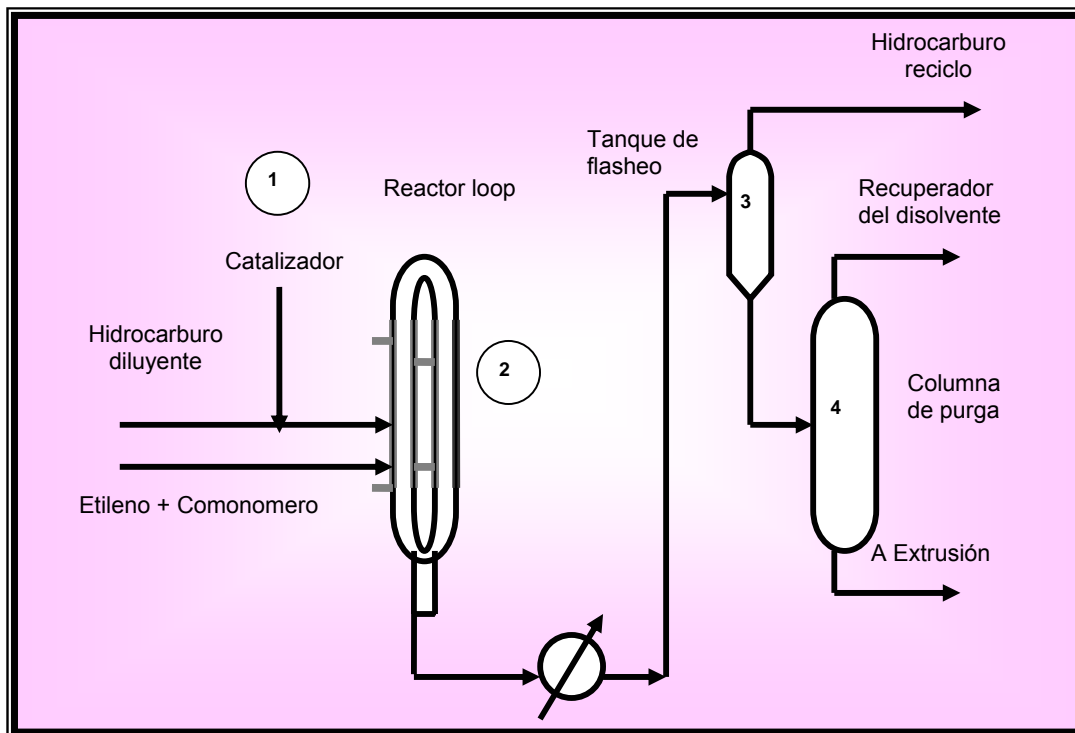


Figura 7. Polietileno lineal – Chevron Phillips Chemical Co., LP.

2.4.1.2 Tecnología para producir Polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de media densidad (MCPE) bajo el proceso de Slurry – “CX process” (licenciador Mitsui Chemicals, Inc). El proceso CX usa dos reactores de polimerización en serie y produce polímeros que tienen una distribución de peso molecular bimodal⁹.

⁹ IAN GREEN, SembCorp Simon – Carves. Polyethylene production. Petrochemical Processes. Hydrocarbon Engineering. 2003. 65p.

La distribución en el peso molecular y en la composición es fácilmente controlada ajustando las condiciones de operaciones de los dos reactores sin cambios en el tipo de catalizador.

Este proceso permite un amplio rango de melt index por la aplicación química del catalizador combinado con el sofisticado proceso de polimerización.

Un catalizador muy completo y una operación simple de polimerización proveen un producto fácilmente que resulta en corto tiempo de transición. Mitsui también ha desarrollado nuevos catalizadores, los cuales contribuyen en una mejor morfología del polímero pulverizado y una consumación del etileno. El melt index esta entre 0.01 a > 50 y una densidad de 0.93 a 0.97. En la figura 8 se observa un esquema del proceso.

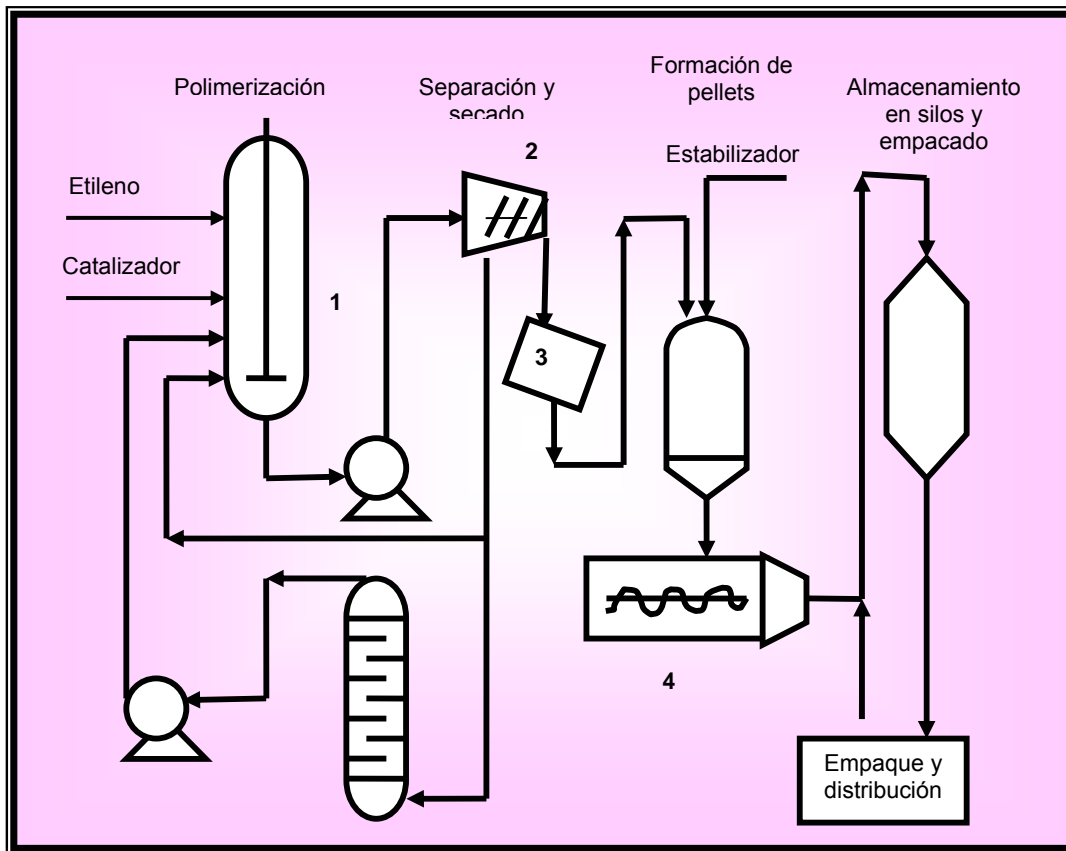


Figura 8. “CX process” – Mitsui Chemicals, Inc. Polietileno de alta densidad y de mediana densidad.

2.4.1.3 Tecnología para producir polietileno de alta densidad (HDPE) usando el proceso Hostalen. La polimerización ocurre en un medio dispersante, tal como el n – hexano y usando el catalizador de Ziegler de muy alta actividad. Para una producción unimodal el catalizador, el medio dispersante, el monómero y el hidrógeno son alimentados al reactor, mientras la polimerización ocurre. En el caso de una producción de grado

bimodal, el catalizador es solo alimentado al primer reactor, la segunda etapa de polimerización ocurre bajo diferentes condiciones de reacción con respecto al primer reactor. Además, el etileno, butano y la mayor parte del medio dispersante son alimentadas al segundo reactor. Las condiciones del reactor son controladas continuamente obteniéndose una alta calidad de polietileno.

El polietileno de alta densidad del segundo reactor es enviado a un post – reactor para reducir los monómeros disueltos, y reciclar los no – monómeros.

El polímero es separado del medio dispersante. El polímero que contiene un remanente de hexano es secado en un secador de lecho fluidizado para ser después peletizado en la sección de extrusión.

En la figura 9 se muestra un esquema del proceso.

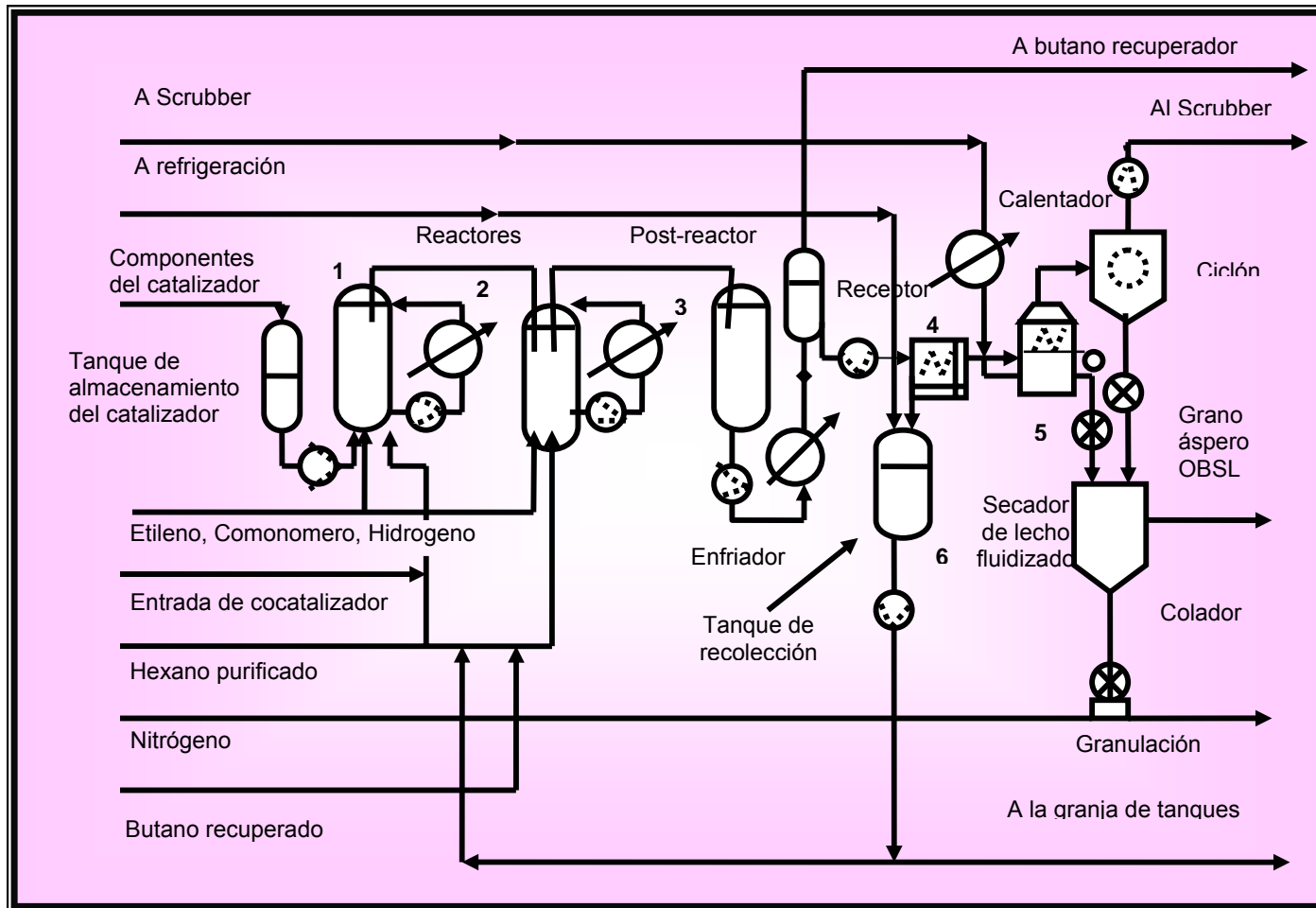


Figura 9. Proceso Hostalen. Para producir polietileno de alta densidad (HDPE).

2.4.2 Tecnología de baja presión en fase gaseosa. UCC es el licitante a escala mundial de licencias de una tecnología de fase gaseosa llamada “Unipol” cuyo uso comercial se autoriza a través de Univation, que actúa como su agente exclusivo. Univation es una empresa en participación creada entre UCC y Exxon con vistas a investigar, desarrollar, comercializar y otorgar licencias de sistemas de proceso y de catalizador que pueden utilizarse en las plantas de fase gaseosa y de Slurry. Exxon ha aportado a Univation a través de licencias exclusivas su tecnología de catalizadores de metalloceno y los avances que ha logrado en tecnología de proceso de fase gaseosa (la tecnología de supercondensación). UCC se ha hecho con una cuota del [60-70%] de la capacidad de tecnología de polietileno autorizada a terceros en los quince años que median entre 1984 y 1998. Durante este período sólo había en el mercado dos competidores que contasen con la oportuna licencia de tecnología de fase gaseosa: BP Amoco y Montell. Adicionalmente, Boreales firmo una licencia con una empresa asociada para su proceso híbrido Slurry / fase gaseosa llamada “Borstar” y Mitsui también concede licencias a su tecnología de reactores en fase gaseosa.

En la tabla 4 se describe la participación de las empresas en la tecnología en fase gaseosa:

Tabla 4. Empresas de tecnología fase gaseosa

Empresa	Fase gaseosa (en %)
UCC	60-70
BP Amoco	20-300
Montell	5-15

2.4.2.1 Tecnología fase gaseosa Spherilene (licenciador Basell Polyolefins). Se utiliza para producir polietileno de muy baja densidad (VLDPE), polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) como también polietileno de alta densidad (HDPE) y otros tipos especiales de polietileno basados la familia de catalizadores basados en titanio de Ziegler – Natta.

Los componentes del catalizador son mezclados y alimentados directamente a la prepolimerización (1) con un gas inerte liviano, en donde una primera polimerización ocurre a unas condiciones determinadas. En la figura 10 se puede observar un esquema del proceso.

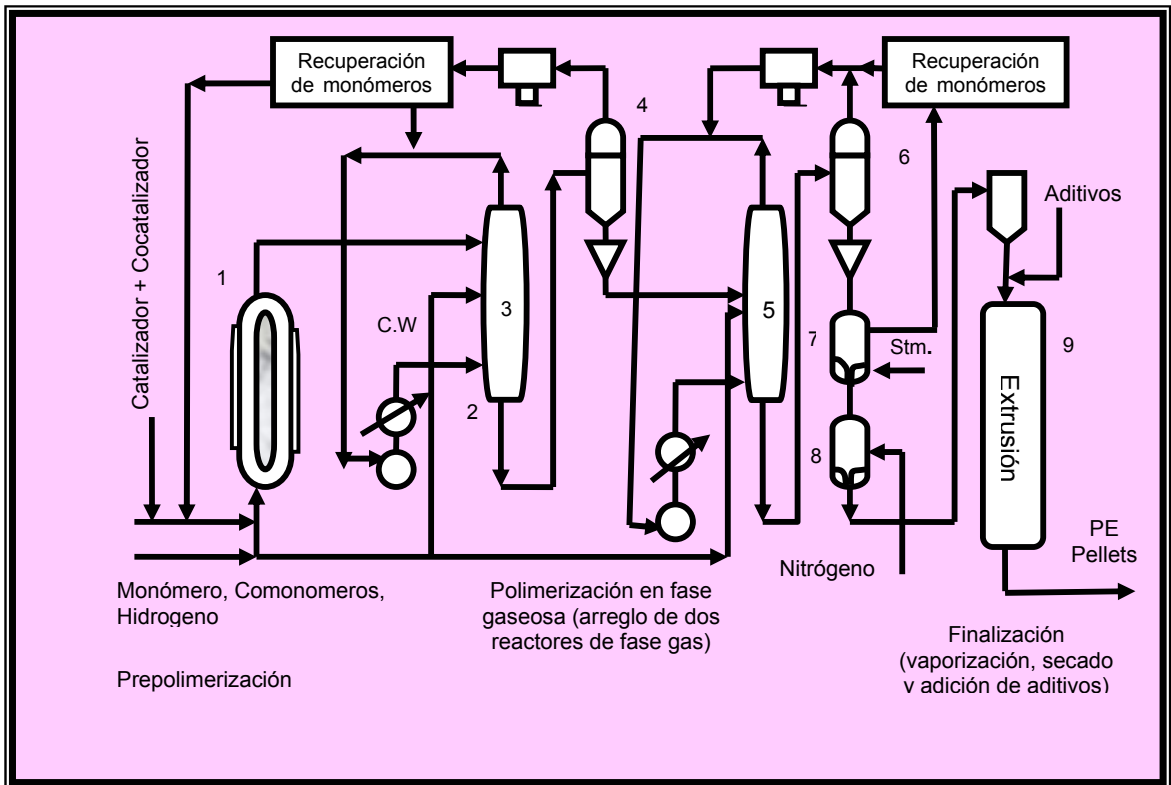


Figura 10. Spherilene gas – phase technology

La calidad del polímero y la rata de reacción son controladas por la composición del gas, la rata de alimentación y el tiempo de residencia. El producto es continuamente descargado desde el primer reactor de fase gaseosa a un segundo reactor de fase gaseosa que presenta una configuración similar. La densidad del producto es controlada para polietileno de muy baja densidad (ULDPE) < 960 g/ml y el Melt index (MI) en un rango de 0.01 a > 100 g/ 10 min.

La economía del proceso Spheriline se describe a continuación:

Consumo, por tonelada métrica de polietileno lineal de baja densidad LLDPE:

- Etileno y comonomero, t 1.005
- Electricidad, KWh 410
- Vapor, Kg 200
- Agua de enfriamiento, $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$, mt 150

2.4.2.2 Tecnología fase gaseosa Borstar (licenciador Boreales A/S).

Para producir un amplio rango de polietileno lineal de baja densidad bimodal y unimodal, polietileno de media densidad (MDPE) y polietileno de alta densidad (HDPE). El polietileno Borstar consiste de un loop reactor y un reactor en serie en fase gaseosa.

En la figura 11 se puede observar un esquema del proceso.

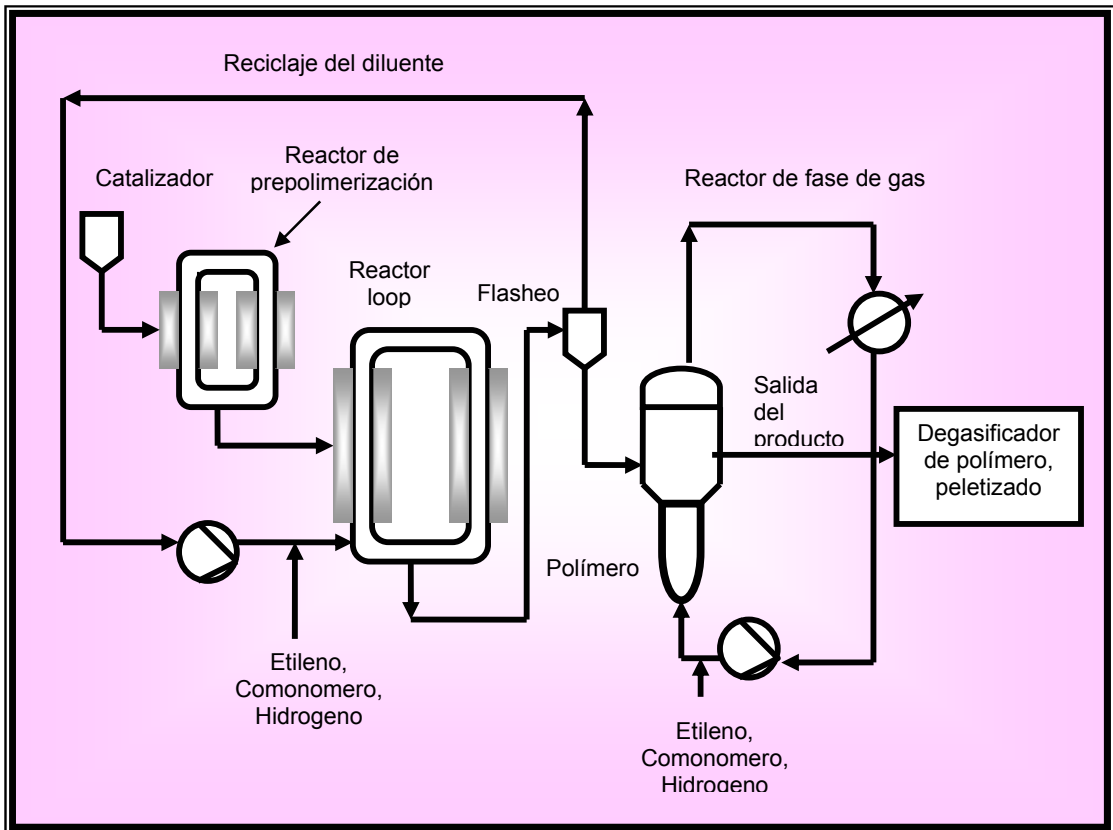


Figura 11. Proceso Borstar Polyethylene

Polietileno con densidades entre 918 y 970 kg/m³ y una tasa de flujo de fundición de 0.1 -100 pueden ser producidos. Catalizadores de Ziegler Natta son usados.

El catalizador es mezclado con el diluyente propano y alimentado al reactor de prepolimerización. Co-catalizadores, etileno e hidrógeno son también alimentados al reactor. El Slurry pre-polimerizado es enviado al loop reactor.

El diluyente y los componentes que no reaccionan son separados del polímero producido en un tanque de flasheo. El loop reactor y el reactor de fase gaseosa son totalmente independientes el uno del otro, lo cual hace más fácil el control de las condiciones del reactor y flexibiliza para procesar un amplio rango de productos. El reactor de fase gaseosa opera entre 75-100°C y 20 bar. Etileno fresco, comonomero e hidrógeno son alimentados al reactor.

2.4.2.3 Tecnología en fase gaseosa Innovene (licenciador BP.).

Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) y polietileno de alta densidad (HDPE) usando los catalizadores de Ziegler – Natta, cromo o metalloceno.

Los catalizadores de Ziegler – Natta y metalloceno son inyectados directamente al reactor de almacenamiento mientras los catalizadores de cromo son inyectados para la activación del catalizador vía BP. El reactor es diseñado para asegurar un buen mezclado y una temperatura uniforme. Las condiciones de operación en el lecho del reactor son moderadas, la presión es alrededor de 20 bar, y la temperatura entre 75°C a 110°C. Las finas partículas que dejan el reactor con el gas de salida son colectadas por un ciclón. El gas que no reacciona es enfriado y separado de cualquier líquido, comprimido y retornado al reactor.

En la figura 12 se puede observar un esquema del proceso. La tecnología de baja presión y fácil operación hace que el proceso Innovene sea inherentemente seguro, mejor ambientalmente y atractivo económicamente.

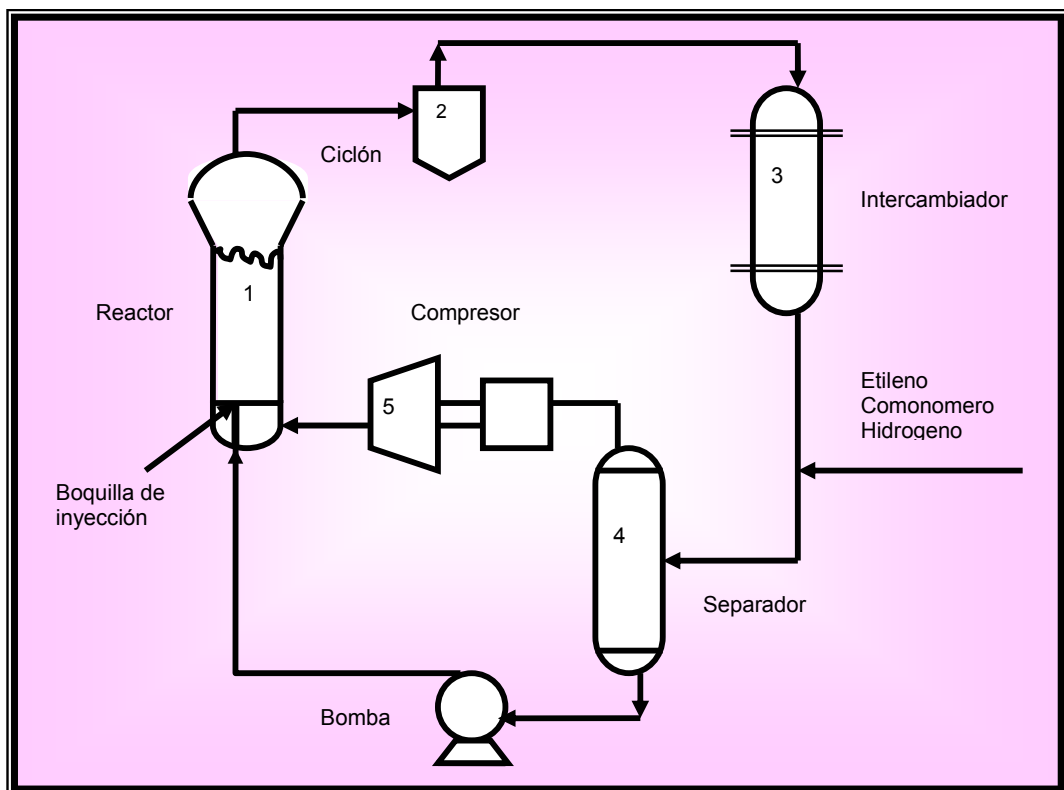


Figura 12. Proceso fase gaseosa Innovene.

2.4.2.4 Tecnología en fase gaseosa UNIPOL. Para producir polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) a polietileno de alta densidad (HDPE) a baja presión. El producto es sustancialmente libre de finos de forma

granular que fluye libremente y que es convertido en pellets para la venta¹⁰. La distribución del peso molecular y el melt index son controlados seleccionando el catalizador apropiado y ajustando las condiciones de operación. La densidad del producto es controlada ajustando el contenido de comonomeros en el producto.

La alta productividad de los catalizadores convencionales y del metaloceno elimina la necesidad de remover el catalizador. La naturaleza simple y directa de este proceso resulta en una baja inversión y en bajos costos de operación, niveles bajos de polución ambiental, mínimos peligros de explosión e incendios potenciales, así como una fácil operación y mantenimiento.

El etileno gaseoso, comonomero y catalizadores son alimentados al reactor que contiene un lecho fluidizado que opera a 25 kg /cm² y a 100°C. En la figura 13 se muestra un esquema del proceso.

¹⁰ IAN GREEN, SembCorp Simon – Carves. Polyethylene production. Petrochemical Processes. Hydrocarbon Engineering. 2003. 65p.

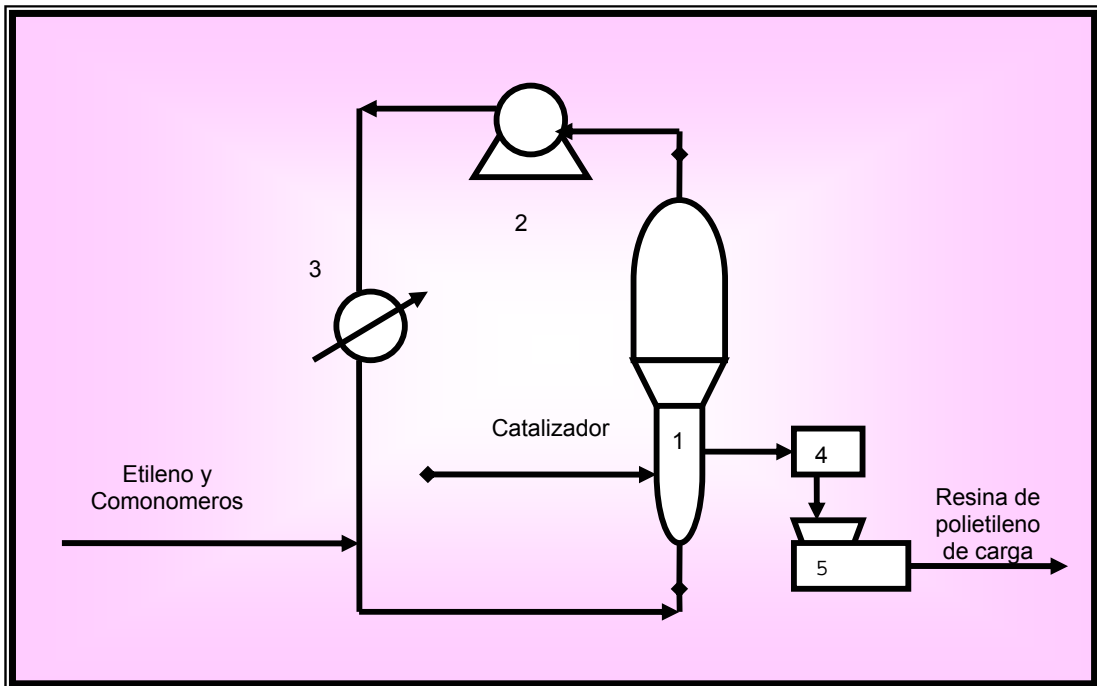


Figura 13. Tecnología en fase gaseosa UNIPOL.

El producto granular fluye intermitentemente en un tanque de descarga para el producto (4) en donde el gas que no reacciona es separado del producto y retorna al reactor. El hidrocarburo que permanece con el producto es removido purgando con nitrógeno y el producto granular es subsecuentemente pelotizado en un sistema que requiere un mínimo consumo de energía con el aditivo apropiado.

La densidad del polímero es controlada fácilmente de 0.915 a 0.970 g/cm³.

La distribución del peso molecular depende del tipo de catalizador que se utilice. El melt index puede variar de 0.1 a 200. Diferentes grados de películas de polietileno son producidos.

2.4.3 Tecnología de alta presión. UCC es un licitante de tecnología de alta presión, DOW no concede a terceros licencias para explotar su tecnología de alta presión. La cuota de mercado total de UCC (es decir, tanto en los procesos de autoclave como en los tubulares) es del [5-15%], muy por debajo de la de su competidor principal, ICI, que posee entre un 20% y un 30%. UCC, sólo concede licencias de tecnología de proceso tubular de alta presión, en la que su cuota en el mercado es del [20 – 30%].

2.4.3.1 Tecnología Exxon Mobil Chemical Co. Para producir polietileno de baja densidad (LDPE), homopolímeros y copolímeros EVA usando radicales libres a alta presión. Reactores a escala tubular con una capacidad entre 130 a 400 Mtp y son usados, también reactores autoclave con una capacidad de 100 Mtp son usados. Una variedad de homopolímeros de polietileno de baja densidad (LDPE) y copolímeros pueden ser producidos en estos reactores, con una amplia gama de aplicaciones en películas para moldeo y extrusión. El reactor autoclave permite obtener distribuciones pequeñas y amplias de peso molecular dependiendo de las condiciones del

reactor seleccionado, mientras que los reactores tubulares son usados para un limitado peso molecular. El etileno gaseoso es suministrado en límites de batería y comprimido a 300 bar en el compresor primario. Este gas, junto con la corriente de reciclo, es comprimida con el compresor secundario. El reactor tubular opera a una presión por encima de 3000 bar, mientras que el autoclave opera normalmente a una presión por debajo de los 2000 bar. El polímero es separado en recipiente, el gas que no reacciona es reciclado. El polímero fundido del separador de baja presión es alimentado al extrusor, los pellets de los polímeros son almacenados en silos. En la figura 14 se puede observar un esquema del proceso.

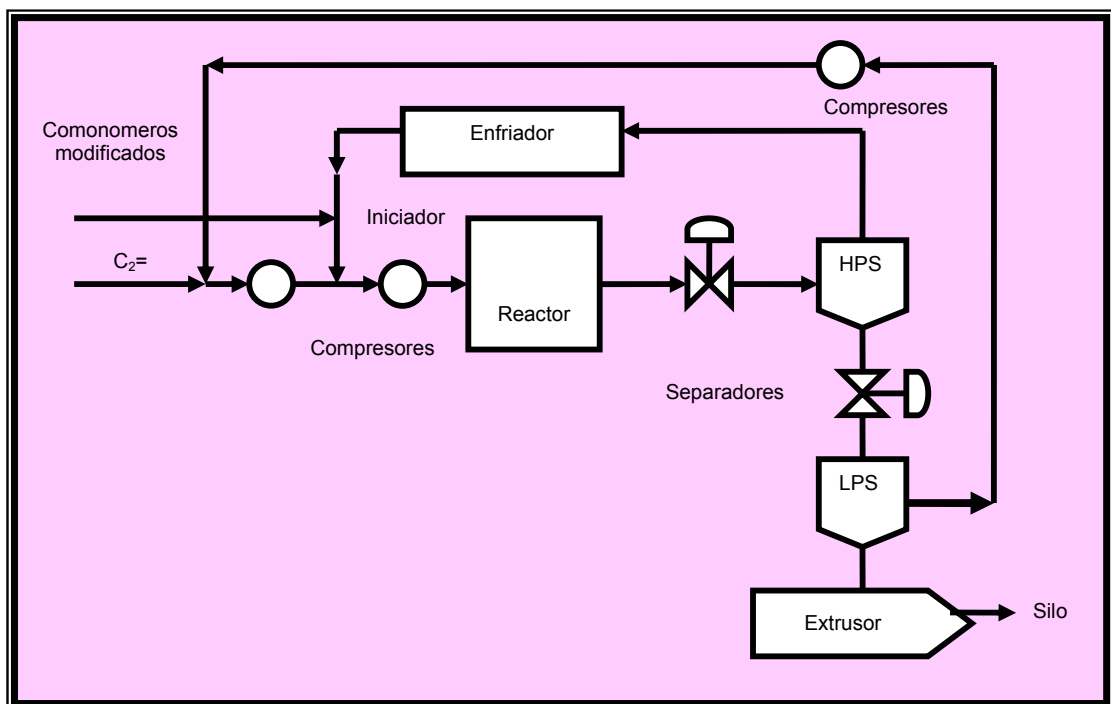


Figura 14. Tecnología Exxon Mobil Chemical Co. Polietileno de baja densidad.

La principal ventaja del proceso a alta presión con los otros procesos de producción de polietileno es el corto tiempo de residencia y la capacidad de cambiar de homopolímeros a copolímeros incorporando comonomeros polares en el mismo reactor. El proceso a alta presión produce largas cadenas de productos ramificados de etileno, adicionalmente, permite transiciones rápidas y eficientes en un amplio rango de polímeros.

2.5 TECNOLOGÍA Y PROCESO DE PRODUCCIÓN DE POLIETILENO EN COLOMBIA

En Colombia se cuentan con dos plantas de Polietileno pertenecientes a ECOPETROL. Las plantas producen polietileno de baja densidad bajo la tecnología de reactores autoclave (alta presión), la planta Polietileno I tiene una capacidad de diseño de 63 TMD y la planta polietileno II posee una capacidad de diseño de 107 TMD. El proceso consiste en elevar la presión del etileno gaseoso de alta pureza desde 5 hasta 18000 psig de presión, el cual se lleva a cabo en dos etapas de compresión: 1) de 5 a 200 psig, de 200 a 3000 psig y 2) de 3000 a 18000 psig. A 18000 psig el gas se convierte en polietileno por medio de iniciadores de polimerización los cuales se descomponen a una temperatura determinada.

Los iniciadores son peróxidos inorgánicos, los cuales se descomponen a alta temperatura formando radicales libres. Una vez formado el polietileno en el reactor se somete a separación, la conversión en el reactor es del 14%.

La separación ocurre en dos etapas: la primera etapa a 3000 psig en donde se separa el polietileno al pasar por un tambor separador, aquí se separa la mayor cantidad de gas que se recicla al proceso. La segunda etapa ocurre a 5 psig en donde se separa una pequeña cantidad de gas que no ha reaccionado del polietileno ya fundido.

Posteriormente, por medio de un extrusor se hace pasar a través de una platina de orificio donde se producen los pellets por medio de un cortador y enfriamiento con agua. Estos pellets pasan a almacenamiento y a análisis de laboratorio para control de calidad y su venta.

En la figura 15 se describe el proceso desarrollado en Colombia.

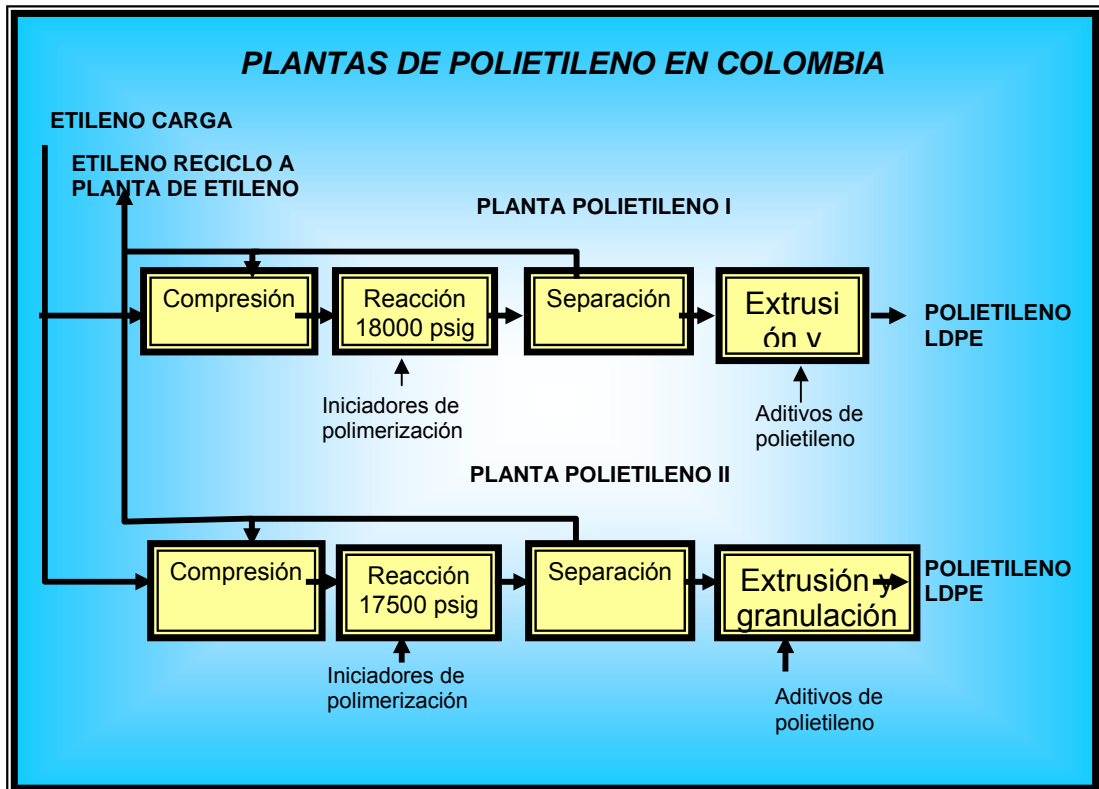


Figura 15. Plantas de Polietileno I y II. ECOPETROL.

3. MERCADO DEL POLIETILENO

El polietileno fue descubierto en 1935 por la Industria Imperial Chemical (ICI) en un laboratorio de investigación en Inglaterra. Durante el experimento una corriente eléctrica pasó a través de una vasija que contenía etileno a alta presión. Una pasta, una sustancia blanca depositada en la vasija fue encontrada después de la prueba. Se encontró que el etileno había sido polimerizado, pero su uso no fue obvio inmediatamente. Al polímero se le encontró que tenía excelentes propiedades dieléctricas por lo cual se empezó a comercializar.

La producción comercial del polietileno de baja densidad (LDPE) comenzó en 1939 usando un pequeño reactor autoclave de 50 litros que era capaz de manufacturar 100 tpy. Una segunda planta utilizó un reactor de 250 litros capaz de manufacturar 1000 tpy, pero fue comisionado en 1942. El crecimiento al principio fue lento, fue hasta finales del año 1940 y principios de 1950 que fueron desarrolladas las técnicas para transformar el polietileno en películas, que el crecimiento de la industria del polietileno empezó a desarrollarse.

ICI licencio la tecnología para permitir que otras compañías manufacturaran polietileno de baja densidad LDPE en Norte América, Europa y Japón. Aproximadamente, al mismo tiempo, BASF y Union Carbide, quienes habían desarrollado un “reactor tubular” para procesar polietileno de baja densidad LDPE, también empezó a licenciar su tecnología, en este momento comenzó el licenciamiento de la industria del polietileno.

El mercado del polietileno continuo creciendo para el polietileno de baja densidad LDPE a través de los años 50's y esto impulso a la compañía Phillips Petroleum a buscar una alternativa para procesar polietileno a baja presión usando los catalizadores de Ziegler¹¹. Se esperaba que el costo de manufactura del proceso a baja presión fuera menor que el de alta presión, pero este no fuera el caso. Sin embargo, el desarrollo produjo una nueva familia de polietileno con una estructura molecular diferente y una mayor densidad, al cual se denominó polietileno de alta densidad HDPE. El HDPE no era un competidor para el polietileno de baja densidad LDPE, pero complementó, con un nuevo rango de aplicaciones. A finales del año 1960 se observó la introducción del proceso en fase gaseosa a baja presión para manufacturar polietileno de alta densidad HDPE.

¹¹ IAN GREEN, SembCorp Simon – Carves. Polyethylene production. Petrochemical Processes. Hydrocarbon Engineering. 2003. 65p.

Mientras esto fue una innovación en el diseño, este no tuvo una ventaja económica clara sobre el proceso de Slurry y por lo tanto el crecimiento de esta tecnología fue modesto. Sin embargo, en 1997, la Union Carbide anunció el proceso “Unipol” para manufacturar polietileno lineal de baja densidad LLDPE y el paso de una inversión acelerada.

A pesar de que el decaimiento del polietileno de baja densidad ha sido pronosticado, esto no ha ocurrido. Los clientes continúan prefiriendo el polietileno de baja densidad LDPE convencional porque es más fácil de procesar. Durante los años 80 y 90's el proceso en fase gaseosa continuo su desarrollo con la introducción de comonómeros de grandes olefinas y la configuración de reactores bimodales para mejorar las propiedades del polietileno lineal de baja densidad LLDPE. Basado en lo anterior se hará un análisis de la demanda del polietileno.

3.1 DEMANDA GLOBAL DEL POLIETILENO

La demanda global del polietileno ha aumentado por encima de 50 millones de toneladas por año, un largo camino desde la producción inicial de 100 toneladas por año en 1939. Una demanda aproximada de los diferentes tipos de polietileno es:

- LDPE: 17 millones de toneladas por año.
- LLDPE: 13 millones de toneladas por año.
- HDPE: 23 millones de toneladas por año.

La rata global de crecimiento aproximada en la demanda predicha fue de 2% para el LDPE, 8% para el LLDPE y aproximadamente 5% para el HDPE. Claramente, hay una diferencia regional. El crecimiento en el mercado maduro de Europa será menor, Norte América será término medio, mientras que el desarrollo de los mercados de Asia y Sur América será mayor en donde el consumo per cápita de polietileno es muy pequeño. Es importante anotar sin embargo que aproximadamente el 50% de todo el polietileno es consumido en Europa y en Norte América. La diferencia entre el LDPE / LLDPE en Norte América es aproximadamente 45/55, mientras que en Europa es aproximadamente 70/30.

La más alta rata de crecimiento es para el polietileno lineal de baja de densidad LLDPE por lo cual se sugeriría que es este en donde las nuevas inversiones deben ser realizadas. Sin embargo, en esta ya han sido realizadas altas inversiones en nueva capacidad de producción para polietileno lineal de baja densidad LLDPE y hay actualmente demasiada capacidad.

En Norte América por ejemplo, una de cuatro plantas de polietileno lineal de baja densidad LLDPE ha sido convertida para producir HDPE. Las tasas de las plantas de operación para el polietileno de baja densidad (LDPE) y alta densidad (HDPE) son corrientemente altas por encima del 90%, mientras que las polietileno lineal de baja densidad LLDPE son bajas, aproximadamente del 80%.

El decaimiento del polietileno de baja densidad ha sido proyectado en varias ocasiones pero este permanece como un polímero estable, favorecido por:

- El polietileno de baja densidad LDPE es un producto preferido por su conversión, ya que es más fácil de procesar que el polietileno lineal de baja densidad.
- El proceso es relativamente simple. La alta presión no hace que el proceso sea inseguro, pero significa que los equipos deben ser robustos y por largos años.
- El LDPE se ha siempre vendido a mayor precio que el LLDPE y continuara así.
- Si se compara plantas de tamaño similar para manufacturar LDPE y LLDPE, el LDPE es más lucrativo.

3.2 DEMANDA DEL POLIETILENO EN MÉXICO, ARGENTINA Y LA UNIÓN EUROPEA

Con el objeto de establecer un parámetro de referencia del mercado del polietileno se analizó la demanda de países como México, Argentina y la Unión Europea, basados en reportes que ellos han realizado.

a. MERCADO MÉXICANO. México es el 17° productor de petroquímicos en el mundo y el segundo en Latinoamérica¹². Actualmente Pemex Petroquímica (PPQ) cuenta con diversos centros petroquímicos donde se procesan materias primas provenientes de Pemex Gas y Petroquímica Básica, como son: gas natural, etano, olefinas de FCC, propano y naftas. Los petroquímicos elaborados por Petróleos Mexicanos se dividen en cinco grandes bloques que son:

- ✓ Derivados del metano.
- ✓ Derivados de etano.
- ✓ Propileno y derivados
- ✓ Aromáticos y derivados
- ✓ Otros

¹² HOWARD, Rappaport. Petrochemicals, pellets and packaging – one universal market. Hydrocarbon Processing. 2003. 77p.

En la cadena del etileno las plantas de polietileno presentan cierto grado de obsolescencia tecnológica por sus limitaciones en el tipo de productos obtenidos, ya que solo se produce polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD). Por esta razón, el mercado abastecido por Pemex Petroquímica es restringido¹³. Adicionalmente, el hecho de algunos tecnólogos son también productores, con un amplio control del mercado y de los precios internacionales de los productos (Dow Chemical, Phillips, Union Carbide), y algunos que no licencian la tecnología y que protegen junto con sus patentes, hacen el mercado tecnológico muy cerrado ocasionando que las importaciones de polietileno de baja densidad representara el 50% del mercado nacional. Por tal motivo, en México se estableció un programa a largo plazo de ampliación y modernización de las plantas de etileno, así como la introducción de nuevos trenes de polietileno con tecnología para producir polímeros de diversas especificaciones basados en la importancia de la industria del polietileno dentro de la petroquímica, para lo cual se acordó el “Plan de Negocios 2001-2010” con el objeto de mejorar el escenario de la petroquímica en México.

¹³ TOMAOAKI, Matsugi; SHIN, Ichi Kojoh; TOSHIUKI, Tsutsui; NORIO, Kashiwa, Mitsui Chemicals Inc. Technology . Hydrocarbon Engineering. 2001. 65p.

b. MERCADO EN ARGENTINA. En Argentina la actividad de transformación de los materiales de moldeo producidos en el mercado local o importados está en manos de aproximadamente 1700 empresas pertenecientes a la industria del plástico.

La estructura del consumo de termoplásticos estimada por el Instituto Petroquímico Argentino para 1995 fue la siguiente:

- ✓ PVC: 46% caños y accesorios; 16% botellas; 11% cables; 8% film y láminas; 7% calzado; 6% cuerina; 3% perfiles rígidos y 3% varios.
- ✓ Poliestireno: 35% envases lácteos; 22% envases descartables; 10% refrigeración/ laminación; 3% cosmética y laboratorios y 30% varios.
- ✓ Poliestireno expandible: 50% construcción, 42% envases y embalajes y 8% varios.
- ✓ Polietileno de baja densidad: film 85%, inyección 6%, extrusión 4% y varios 5%.
- ✓ Polietileno de alta densidad: 41% soplado, 21% inyección, 33% extrusión y varios 5%.
- ✓ Polipropileno: 43% inyección, 19% película, 13% rafia, 10% fibras y filamentos, 13% extrusión y 2% soplado.

En la tabla 5 se puede observar el consumo aparente de termoplásticos.

Tabla 5. Consumo aparente de termoplásticos.

Año	PVC y copolímeros	Poliestireno y copolímeros	Polietileno de baja densidad	Polietileno de alta densidad	Polipropileno
1992	102,2	40,8	156,2	112,2	83,7
1993	125,4	41,7	205,7	130,5	97,2
1994	133,0	47,5	217,5	134,0	102,1
1995	117,7	41,4	211,0	136,7	101,3
1996 (e)	124,0	52,0	233,0	154,0	134,0

Fuente: Anuario del Instituto Petroquímico Argentino

(e) estimada

Adicionalmente, según un estudio realizado por la oficina de la CEPAL – ONU, la resina plástica superó a fines de la década pasada, el millón de toneladas de materias primas plásticas procesadas¹⁴. El 90% de este consumo se concentra en los seis productos principales que provee la industria petroquímica final: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD); polipropileno (PP); policloruro de vinilo (PVC); poliestireno (PS) y politereftalato de etileno (PET). En la tabla 6 se observa el incremento en el mercado del polietileno de baja densidad desde los años 1997 a 2002.

¹⁴ RAMAI, Marcelo. Industria de los Derivados de la Petroquímica. Estudios sectoriales. Oficina de la CEPAL – ONU. 2003. 8p.

**Tabla 6. Principales materias primas procesadas por la Industria
plástica Argentina**

Producto	1997	1998	1999	2000	2001	2002
PEBD	277	266	291	273	248	215
PEAD	192	216	190	208	196	155
PP	173	188	171	188	175	141
PVC	150	106	142	114	100	78
PS	58	58	60	47	53	40
PET	103	126	144	142	156	135
Otros	136	155	146	165	142	105
Total	1089	1115	1144	1137	1070	869

El INDEC estableció que la producción de materias primas plásticas y caucho sintético presentó un incremento del 4.3% en enero de 2004 con respecto a enero del año 2003. El INDEC encontró que las materias primas plásticas como los polímeros presentaron un buen desempeño productivo para lo cual se correlacionaron los pedidos efectuados. Por lo tanto, si se observa la evolución del mercado interno argentino se nota un incremento en el consumo de polietileno de baja densidad y alta densidad durante los años 90's y se advierte un incremento en el consumo per cápita respecto a los niveles del año 2002 e inicios del 2003.

El INDEC destaca que para el polietileno se verificó un buen nivel de pedidos por parte de la industria de envases para alimentos, de cosmética y

de limpieza para el hogar, lo que realza la importancia de la industria del polietileno.

c. MERCADO EN LA UNIÓN EUROPEA. Según el estudio presentado por el Diario Oficial de las Comunidades Europeas del análisis de mercado del polietileno se argumentó¹⁵: 1) existe un alto grado de intercambiabilidad de la demanda entre las resinas de polietileno de baja densidad LDPE y polietileno lineal de baja densidad LLDPE y que constituyen un mercado separado; 2) el mercado más pequeño sería, el de LDPE, LLDPE C4 y LLDPE C6, debido al alto grado de posibilidad de sustitución de la demanda entre todas estas resinas y al alto grado de intercambiabilidad de la oferta entre el LLDPE C4 y el LLDPE C6.

La investigación desarrollada mostró que el LLDPE está absorbiendo una parte importante del crecimiento del polietileno y esta creciendo de forma notablemente más rápida que el polietileno de baja densidad LDPE. Se prevén tasas de crecimiento medidas del LLDPE de más de un 5% anual, comparadas con el 0-1% anual del LDPE en los próximos años.

¹⁵ www.mp.mx/publicaciones/prospectiva/prosp_c07.pdf

El LDPE está siendo sustituido directamente por el LLDPE en algunas aplicaciones en las que hasta ahora sólo podría utilizarse el LDPE por sus mejores propiedades mecánicas (reducción del grosor, mejor resistencia al desgarro, la punción y el calor, así como mejor sellabilidad).

Para la evaluación del mercado la comisión evaluó los siguientes parámetros:

3.2.1 Definición del mercado geográfico. Se estableció:

- El mercado de referencia es Europa Occidental. Las resinas de polietileno se transportan con facilidad. Los costes de transporte de las resinas de polietileno son relativamente bajos (entre el 6% y el 7% en una distancia de 1000 kilómetros) en relación con el valor de los productos y hay flujos comerciales notables entre los países europeos.
- El nivel de importaciones en Europa occidental es bajo, es decir, para el LDPE y el LLDPE la cuota de importación es muy inferior al 5% en términos de volumen.
- Existe tres mercados geográficos importantes: Europa occidental, los Estados Unidos de América y Extremo Oriente.

3.2.2 Evaluación competitiva. La idea de cada uno de los productores de polietileno es la de convertirse en “el principal productor mundial de poliolefinas con una gama amplia de productos y ser un proveedor de bajo coste en todos los mercados importantes de resinas de PE”, por tal motivo se han establecido alianzas entre los diversos proveedores de polietileno, entre las cuales se destaca:

1) La creación de una empresa en participación entre Union Carbide Corporation (UCC) denominada Polimeri en 1995, la cual sería desarrolladora, productora, comercializadora y vendedora de resinas de polietileno y olefinas para el mercado europeo.

2) la fusión DOW – Union Carbide Corporation (UCC) en 1999.

En la tabla 7 se muestra las cuotas en el mercado de los diferentes productos de polietileno comercializados en Europa:

Tabla 7. Mercado de Polietileno.

Producto	DOW	UCC	Partes	Competidores
LLDPE C8	[70-80%]	[0-10%]	[75-85%]	DSM [10-20%] Otros [0-10%]
LLDPE C4,C6 y LDPE	[5-15%]	[10-20%]	[20-30%]	Boreales [10-20%] Elenac [5-15%] Exxon[5-15%] Otros [<10%]
LLDPE C4 y C6	0%	[20-30%]	[25-35%]	BP Amoco + SV [5-20%] Exxon [5-15%] Elenac [5-15%] Otros [<10%]
LDPE	[5-15%]	[5-15%]	[15-25%]	Borealis[10-20%] Elenac [10-20%] Exxon [5-15%] Otros [<10%]
HDPE	[0-10%]	[5-15%]	[5-15%]	Borealis[15-25%] Elenac [15-25%] BP [5-15%] Otros [<10]

Se observa que hay competidores fuertes en el mercado de las resinas de polietileno en general y que entre ellos se encuentra DMS, Elenac, Exxon, BP, Petrofina y Solvay.

Adicionalmente, se observa la existencia de grandes clientes multinacionales entre las que se descarta la DOW como uno de los principales productores de polietileno lineal de baja densidad LLDPE C8 con una cuota en el mercado estimada entre el 70-80% en Europa Occidental.

3.2.3 Mercado de las resinas. Teniendo en cuenta las diferentes tasas de crecimiento de las diversas tecnologías de proceso se puede determinar la demanda de las distintas resinas. Dado lo anterior, la demanda de LDPE, el producto fabricado mediante procesos de alta presión, se ha estancado mientras que la de productos de baja presión, el HDPE y el LLDPE, ha crecido en los últimos años. Adicionalmente, se establece que los procesos a alta presión (que se utilizan para producir LDPE) han alcanzado su madurez y es improbable que sean objeto de nuevos avances técnicos de relevancia.

3.2.4 Diversidad de tendencias. Según el informe presentado por plastunivers la demanda global de los termoplásticos en Europa ha crecido entorno a un 2.3% entre los años 2000 y 2001. El aumento fue modesto e indica un ligero descenso en el crecimiento del mercado¹⁶.

¹⁶ www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=2610

En la figura 16 se observa la demanda por países:

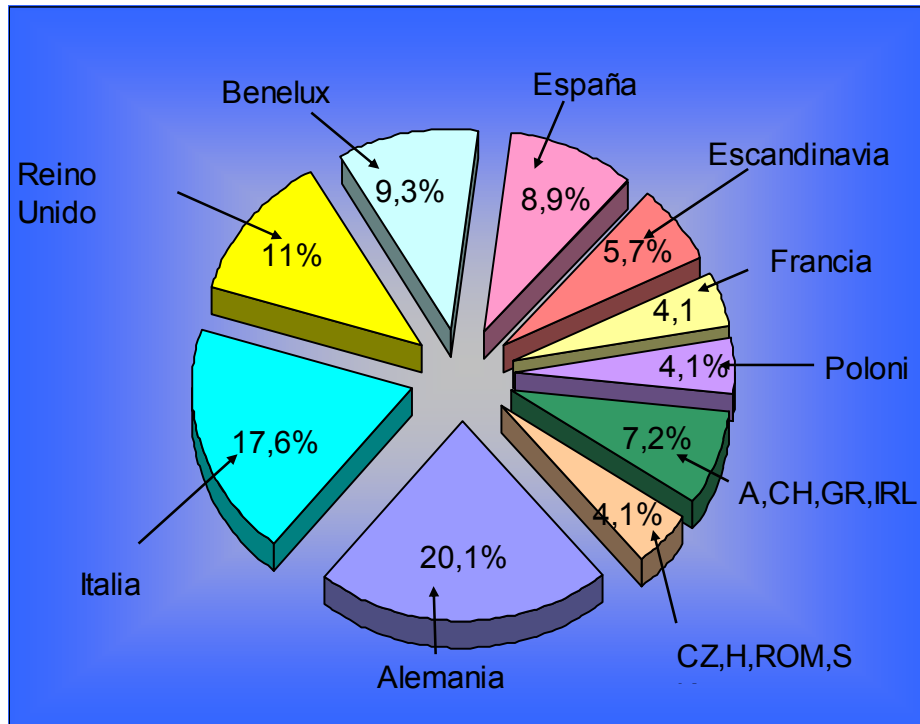


Figura 16. Demanda por países

Al margen de la tendencia general, cada producto en concreto está afectado por dinámicas diversas. El consumo de polietileno de baja densidad LDPE y su sustitución por polietileno lineal o metaloceno. El consumo de estas sustancias ha crecido un 7% en el 2001, mientras que el mercado de polietileno de baja densidad convencional ha descendido.

3.3 MERCADO DEL POLIETILENO EN COLOMBIA

3.3.1 Demanda del gas petroquímico. La declinación de los actuales campos de producción de gas natural de alto contenido de etano en la zona central (Payoa, Provincia y Opón) obliga a pensar en el gas de Cusiana como fuente alterna. Adicionalmente el alto contenido de etano (11%) hace que este gas represente altas expectativas para la industria petroquímica en el país. Si se tiene en cuenta lo anterior se observa que no tiene sentido usar este gas como gas doméstico en las grandes ciudades, dada la posibilidad de utilizarlo para beneficio del país, por medio de la recuperación del etano y posterior uso del gas (metano) como gas domiciliario, logrando un beneficio social y el desarrollo de la industria petroquímica.

3.3.2 Evaluación de la infraestructura existente. El aprovechamiento del gas Cusiana ya construida la planta de endulzamiento del gas y el transporte de este hasta las plantas de gas existentes en ELC y en Barrancabermeja para retirar los pesados del gas requieren la evaluación de la infraestructura de transporte existente.

Esta alternativa permite la evaluación de la capacidad instalada de la planta de tratamiento de El Centro (100 MMPCD) y de la planta recuperadora de etano (100 MMPCD), así como de la Unidad de Pirólisis en Barrancabermeja (100000 TM/año en 360 días de operación).

Teniendo en cuenta la capacidad instalada de las plantas existente y la optimización a las corrientes de etano – etileno provenientes de las unidades de ruptura catalítica el desarrollo de esta alternativa permitiría la disponibilidad de materia prima suficiente en el área como para construir una nueva planta de Polietileno de mínimo 100000 Toneladas métrica por año y permitiría además la continuidad de la operación de las dos Plantas de Polietileno existentes.

Adicionalmente, se tendría un gas seco en Bogotá utilizando el gasoducto existente y la estación compresora de Barrancabermeja, sin necesidades adicionales de infraestructura para su disposición a la red de gas del centro del país. De otra manera, al obtenerse una adecuada recuperación de los licuables se tendría mayor disponibilidad de GLP.

3.3.3 Demanda del polietileno. El mercado total del polietileno es aproximadamente de 200000 TM/año. La capacidad de producción de polietileno en Colombia es de 55000 TPA lo que representa aproximadamente el 70% de abastecimiento del consumo del mercado de polietileno de baja densidad.

En la tabla 8 se puede observar los pronósticos de consumo de polietileno de baja densidad en Colombia:

Tabla 8. Mercado de Polietileno de baja densidad: Toneladas / mes.

Polietileno	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Polietileno 640	500	490	480	471	461	452
Polietileno 641	4,857	4,711	4,570	4,433	4,300	4,171
Polietileno 656	67	67	67	67	67	0
Polietileno 683	2,500	2,625	2,756	2,894	3,039	3,191
	7,924	7,894	7,874	7,865	7,867	7,814

Polietileno	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Polietileno 640	443	434	425	417	409	400
Polietileno 641	4,046	3,924	3,807	3,693	3,582	3,474
Polietileno 656	0	0	0	0	0	0
Polietileno 683	3,350	3,518	3,694	3,878	4,072	4,276
	7,839	7,876	7,926	7,988	8,063	8,151

Gerencia de comercialización.

3.3.4 Análisis económico. Teniendo en cuenta que Colombia solo produce polietileno de baja densidad y que el precio del crudo y del gas es un indicador fundamental en el nivel y direccionamiento de los costos de la materia prima “etileno” y del costo del producto “Polietileno” se realizó el análisis bajo los siguientes supuestos:

1. Precio del dólar: 2549.10 \$
2. Precio de etileno¹⁷ 700 US\$/T.
3. Precio del Polietileno: 1500 US\$/T.
4. Precio de una planta de polietileno lineal de baja capacidad 100000 T¹⁸: 50MUS\$.
5. Precio de producción fase gaseosa licencia B.P.: 50MU\$¹⁹.
6. Para producir 100000 Toneladas de polietileno lineal de baja densidad en 330 días de operación se deberá garantizar una disposición de 387 Toneladas diarias de etileno.
7. Para garantizar la materia prima es necesaria la operación de la planta turboexpansora con 100 MMPCD de gas rico en etano.

Dado lo anterior se obtiene una relación beneficio/costo de 3.58 y una tasa interna de retorno del 107%. Este análisis se puede observar en la tabla 9.

¹⁷ HOWARD, Rappaport. Petrochemicals, pellets and packaging – one universal market. Hydrocarbon Processing. 2003. 77 p.

¹⁸ TOMAOAKI, Matsugi; SHIN, Ichi Kojoh; TOSHIUKI, Tsutsui; NORIO, Kashiwa, Mitsui Chemicals Inc. Technology . Hydrocarbon Engineering. 2001. 65p.

¹⁹ NEWTON, David; CHINH, Jean Claude; Godfrey Michael; STEEDMAN, Jhon. Gas phase polyethylene: Process developments. Petrochemical and Gas Processing. 2001.

Tabla 9. Análisis beneficio /costo de producir polietileno lineal de baja densidad

	VPN(15%)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ingresos MUS\$	1.411	180	208	232	256	280	304	328	352	375
Egresos MUS\$	1.044	149	165	178	190	202	214	226	239	251
Costo Materia Prima	715	89	105	118	130	142	154	166	179	191
Costo Operación	329	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Inversiones MUS\$	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0
Flujo de Caja MUS\$	287	-49	42	54	66	77	89	101	113	125

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el análisis de costos, se puede concluir que desde el punto de vista económico es bastante lucrativo producir polietileno, y si se observa la tendencia del mercado se podría pensar en polietileno de alta densidad y lineal de baja densidad que son los que mayor proyección presentan. Adicionalmente, se sustituirían las importaciones de polietileno y se tendría una balanza comercial favorable.
2. El alto contenido de etano (11% en volumen) en el gas Cusiana presenta un excelente potencial petroquímico, ya que no tiene ninguna presentación quemar este gas con alto valor petroquímico como gas doméstico en los centros urbanos, existiendo alternativas que le generan mayor desarrollo y beneficio para el país, mediante la recuperación de etano y el posterior envío a las redes de gas natural de un gas menos rico en etano, produciendo al final el mismo beneficio social y el correspondiente aporte al desarrollo de la industria petroquímica.
3. La manufactura de producción del polietileno es un negocio de gran escala competitiva por lo cual se debe definir una política petroquímica clara en la cual ECOPETROL debe ser el abastecedor en cantidad y calidad de la materia prima por tener la infraestructura requerida.

4. Se debe promover el desarrollo de proyectos petroquímicos básicos y la reestructuración del sector industrial de la cadena del polietileno. Hoy en día cuando el modelo apertura económica nos permite incursionar en otros países, no se puede seguir pensando, que productos altamente competitivos a nivel internacional como el caso de los productos petroquímicos deban ser importados para satisfacer la demanda nacional, sin considerar que se tiene la infraestructura para producirlos en forma competitiva localmente. Se podría estimar que el proyecto promoverá la conformación y establecimiento de nuevas industrias de procesamiento de plásticos, generando más empleos directos e indirectos.

5. A nivel mundial las empresas petroleras han incursionado en la petroquímica para capturar el mayor valor agregado posible del que puede disfrutar un productor de petroquímicos de bajo costo en una industria integrada. Dicho fenómeno promueve cada vez más, la creación de alianzas entre empresas petroleras y petroquímicas que garanticen la mejor posición de costo para competir. Para ejemplificar la firme incursión de empresas petroleras en la petroquímica se puede mencionar que en las 7 transacciones más importantes durante 1998 y que sumaron 156,000 millones de dólares, participaron 8 empresas petroleras, destacando Exxon, Mobil, Amoco, Bp, Petrofina y Total. Adicionalmente, Chevron y Texaco, se fusionaron incluyendo obviamente sus operaciones petroquímicas. Así que

si como política económica del actual gobierno se está buscando disminuir el desempleo, incrementar la inversión del capital privado, así como la inversión extranjera y aumentar las exportaciones colombianas, este proyecto sería muy atractivo.

6. A pesar que la participación del sector privado en la petroquímica en Colombia aún no se ha discutido y siendo que la cadena de mayor valor en la petroquímica se encuentra en el área de olefinas, especialmente la del etileno, mediante la producción de polímeros, se debe definir con base en los estudios prospectivos que demuestren su viabilidad, proyectos de ampliación y modernización de la planta de etileno existente, así como la introducción de nuevos trenes de polietileno con tecnología para producir polímeros de diversas especificaciones.

BIBLIOGRAFIA

HOWARD, Rappaport. Petrochemicals, pellets and packaging – one universal market. Hydrocarbon Processing. 2003. 77 p.

IAN GREEN, SembCorp Simon – Carves. Polyethylene production. Hydrocarbon Engineering, 2003. 65p

MONTI, Mario. Estudio de compatibilidad de una operación de concentración con el mercado común y con el funcionamiento del Acuerdo EEE Dow Chemical /Union Carbide.2000.

NEWTON, David; CHINH, Jean Claude; Godfrey Michael; STEEDMAN, John. Gas phase polyethylene: Process developments. Petrochemical and Gas Processing. 2001.

OXLEY, David F. Polyethylene technology update. Hydrocarbon Processing. 2001. 119p.

RAMAI, Marcelo. Industria de los Derivados de la Petroquímica. Estudios sectoriales. Oficina de la CEPAL – ONU. 2003. 8p.

TOMAOAKI, Matsugi; SHIN, Ichi Kojoh; TOSHIUKI, Tsutsui; NORIO, Kashiwa, Mitsui Chemicals Inc. Technology . Hydrocarbon Engineering. 2001. 65p.

www.comunidadandina.org/normativa/res/r356.htm

www.ecopetrol.com.co/especiales/informe_anual2002/ecopetrol/comercio2.htm

www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo/polietileno.htm

www.ecopetrol.com.co/paginas.asp?pub_id=153&cat_idcategoriaprincipal

www.lyondel.com. Management's Discussion and Analysis of Financial Condition and Results of Operations. 2003. 1p.

www.metalunivers.com/Tecnica/noticias/noticia.asp?ID=2619

www.mp.mx/publicaciones/prospectiva/prosp_c07.pdf

www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.html

www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=2610.

www.pemex.com/files/depe/memo_cap4.pdf

www.telecable.es/personales/albatros1/quimica/industria/polietileno.htm