

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA



“ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE LA PRODUCCION  
DEL POLIESTER  
A PARTIR DEL ETANO Y ACIDO TEREFTALICO (PTA)”

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERIO PETROQUIMICO

ELABORADO POR:  
PAMELA FIORELLA OVIEDO CENTENO  
PROMOCION: 2008 –2  
ISAIAS QUISPE POMA  
PROMOCION: 2009-1

LIMA – PERU

2010

## SUMARIO

Son tres los pilares sobre los que se sustentan el progreso económico, social y político del Perú, ellos son: la industria, la generación de energía y la agricultura. El desarrollo de la Industria Petroquímica en el país contribuirá al bienestar de la población. El beneficio es el valor agregado generado convirtiendo los componentes del Gas Natural y Condensados en otros que sean materia prima para la Industria Petroquímica optimizando el recurso energético

En el presente trabajo se estudiará técnica y económicamente la implementación de una planta de poliéster, obteniendo el polietilentereftalato (PET) a partir del etano y ácido tereftálico (PTA) para abastecer el mercado nacional. Se han tenido en cuenta no sólo aspectos técnicos y económicos sino también aspectos sociales y ambientales, lo cual garantiza un adecuado enfoque de la situación futura a la cual se desea llegar.

“ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DE LA PRODUCCION DEL  
POLIESTER A PARTIR DEL ETANO Y ACIDO TEREFTALICO (PTA)”

ÍNDICE

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
a) Justificación	
b) Objetivos	
c) Hipótesis	
CAPITULO II: MARCO TEORICO	3
CAPITULO III: ESTUDIO DE LOCALIZACION	4
a) Ubicación	
i. Justificación de la Ubicación	
ii. Descripción de la Ubicación	
CAPITULO IV: ESTUDIO DE MERCADO	15
a) Análisis de la Resina PET	
b) Análisis del Envase PET	
c) Análisis de la Importación de la Resina PET	
CAPITULO V: ESTUDIO TECNICO	25
a) Obtención del Etileno	
i. Introducción	
ii. Proceso de Producción	
b) Obtención del Oxido de Etileno	
i. Introducción	
ii. Proceso de Producción	
c) Obtención del PTA	
i. Introducción	
ii. Justificación	

d) Obtención del MEG	
i.Introducción	
ii.Proceso de Producción	
e) Obtención del Poliéster (PET)	
i.Introducción del Proceso para la Producción de Poliéster	
ii.Proceso de Producción	
CAPITULO VI : ESTUDIO LEGAL	53
a) Justificación	
CAPITULO VII: ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	57
a) Introducción	
b) Aspecto Normativo	
c) Situación Actual de la Zona	
d) Impacto Ambiental del Proyecto de Obtención de Poliéster	
e) Plan de manejo ambiental del Proyecto de Obtención de Poliéster	
CAPITULO VIII : ESTUDIO ECONOMICO	68
a) Evaluación de la Inversión	
b) Evaluación de Egresos	
c) Evaluación de Ingresos	
d) Evaluación Económica	
CAPITULO IX : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
CAPITULO X: BIBLIOGRAFÍA	74
CAPITULO XI : ANEXOS	75
ANEXO A : Cinética de la Reacción	
ANEXO B : Simulación de los Procesos	

## CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### a) Justificación

Hoy en día, los plásticos en general son uno de los productos finales más usados mundialmente. La industria del plástico, a pesar de la última crisis económica sigue en aumento, debido a que día a día se siguen utilizando los plásticos en diferentes presentaciones en nuestras actividades diarias.

El Perú a pesar de contar con fuentes de petróleo y de gas natural, aun no cuenta con una planta de polímeros. El Perú es un importador neto de las resinas plástica, únicamente se realiza actividades de transformación para su uso final del plástico. Por eso, al observar un aumento en las importaciones de resinas plásticas y contar con una fuente de suministro se debería pensar en la realización e implementación de una planta de polímeros (poliéster) que abastezca al mercado nacional y desarrollar la industria petroquímica en el Perú, con el fin de proveer de la materia prima a las fábricas embotelladoras o los grupos interesados.

Por lo tanto, el problema ha investigar en esta tesis es la factibilidad de la implementación de una planta de poliéster a partir del etano, debido a la falta de producción de polímeros para la elaboración de productos plásticos.

### b) Objetivo:

El objetivo de este proyecto es investigar la factibilidad de la implementación de una planta de polímeros, específicamente una planta de poliéster, debido a que a partir del poliéster se abastece a dos grandes grupos de consumidores finales peruanos, industria textil e industria de embotellado, usando para esto el etano y obteniendo por ende un bien final con un precio competitivo en el mercado.

c) Hipótesis:

El gas natural como materia prima se está impulsando ampliamente en el Perú y a partir de la cual se están desarrollando nuevas industrias; por lo cual se plantea la implementación de una planta de poliéster grado botella (PET) para abastecer al mercado nacional a un precio competitivo; se desarrollará esta planta a partir de la producción del monoetilenglicol (MEG), el cual se obtendrá del gas natural y la importación del ácido tereftálico (PTA), para que a partir de estas dos materias primas se obtenga el polietileno tereftalato (PET) usado para la producción de botellas plásticas.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

La investigación de la factibilidad de la implementación de la planta de poliéster se desarrollara según capítulos, en los cuales se harán los estudios siguientes:

- a) Estudio de Localización; en el cual se elegirá la localización ideal para el desarrollo del proyecto
- b) Estudio de Mercado, se desarrollará el estudio de la resina de polietileno tereftalato (PET) y su importación; asimismo se obtendrá la capacidad ideal para abastecer el mercado nacional y las estadísticas de precios.
- c) Estudio Técnico, se obtendrá los diferentes procesos y tecnologías que se usarán para la obtención del poliéster (PET)
- d) Estudio Legal, se investigará las normas que se deberá seguir para la implementación de una planta petroquímica en el Perú.
- e) Estudio Ambiental, se analizará el impacto ambiental que generará el proyecto; así como los estudios que la norma manda.
- f) Estudio Económico, se hará el estudio de ingresos, egresos y la evaluación económica para obtener los valores del VAN y TIR.

Asimismo, la investigación se basara en un estudio previo de implementación de una planta de poliéster a partir del petróleo y estudios sobre algunos procesos de los productos intermedios.

## CAPITULO III : ESTUDIO DE LOCALIZACION

### a) Ubicación de la Planta

Debemos tener en cuenta los siguientes principios:

- La ubicación ideal de una planta, será aquella en donde se logren costos de producción y distribución mínimos y donde los precios y volúmenes de venta conduzcan a la maximización de beneficios.
- Generalmente a mayor cercanía del mercado, mayor la capacidad de la empresa de influir sobre las decisiones de compra de las personas del entorno debido al impacto social de la misma. En muchas ocasiones, las empresas se identifican con zonas o sectores geográficos, lo que hace más fácil la comercialización de sus productos en dichas zonas.
- La decisión de localización debe balancear criterios de eficiencia y competencia, buscando crear ventajas sobre los competidores. Una excelente localización de la empresa, puede generar mejoras en la eficiencia en términos de: Costos de transporte, facilidad en la obtención de materias primas, utilización eficiente de canales de distribución, cercanía al cliente y a sus necesidades.

Por lo tanto siguiendo los citados principios, usaremos los siguientes criterios de selección de locación:

- Proximidad al Mercado Nacional.
- Proximidad a Puerto Marítimo.
- Proximidad a Fuente de Agua Dulce.
- Proximidad a Fuente de Materia Prima.
- Proximidad a Fuente de Energía Eléctrica.
- Efecto sinérgico de la concentración de varias plantas en un solo polo.

- Propiciar el Desarrollo de Área Deprimida.
- No afectación negativa sobre los aspectos físicos, biológicos y socioeconómicos del ambiente.
- Proximidad a Zona con infraestructura y población.

Analizaremos las ciudades posibles para la ubicación de la planta siguiendo el principal criterio para la instalación de una planta petroquímica, el cual es el efecto sinérgico del polo petroquímico; para lo cual citaremos los siguientes apuntes:

- Con fecha 22 de enero de 2009, mediante Resolución Ministerial N° 042-2009-MEM/DM, se declaró a San Juan de Marcona, provincia de Nazca y departamento de Ica como zona geográfica determinada para la instalación del Complejo Petroquímico de desarrollo descentralizado.
- Posteriormente, mediante Resolución Ministerial N° 312-2009-MEM/DM, de fecha 14 de julio de 2009, se declaró como zona geográfica para la instalación de un complejo petroquímico a la zona industrial denominada I-4, ubicada en el distrito de Paracas, provincia Pisco, departamento de Ica.
- A través de Resolución Ministerial N° 443-2009-MEM/DM, de fecha 15 de octubre de 2009, se declaró como zona geográfica para la instalación de un complejo petroquímico a la zona denominada Lomas de Ilo, ubicada en el departamento de Moquegua.

Asimismo, debemos indicar que actualmente se viene realizando las gestiones para declarar polo petroquímico la zona geográfica de Matarani, Arequipa.

Entre estas tres ciudades (Ica, Arequipa y Moquegua) se elegirá donde será la posible ubicación de la planta; para esto se tomará en cuenta las siguientes características:

Terminales Portuarios:

- Terminal Portuario General San Martín en Paracas (Ica)  
Área de influencia: Comprende los departamentos de Ica, Ayacucho, Huancavelica, Cuzco y Apurímac
- Terminal Portuario de Ilo en Moquegua  
Área de influencia: Comprende los departamentos de Puno, Tacna, Moquegua, Arequipa, Cuzco y la República de Bolivia

Figura 3.1: Mapa de los Terminales Portuarios del Perú



Fuente: PROINVERSION ([www.proinversion.pe](http://www.proinversion.pe))

#### Distribución del Gasoducto:

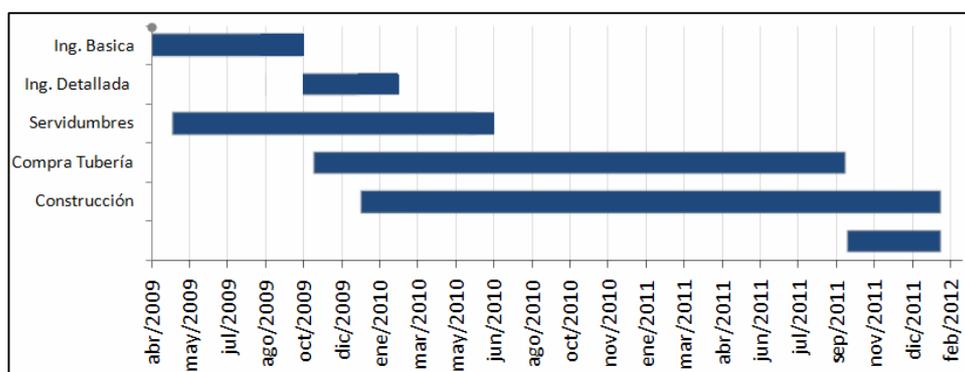
Con fecha 27 de mayo de 2004, PROINVERSION acordó dar en concesión al sector privado el Proyecto denominado “Gasoductos Regionales”, el cual comprende el diseño, construcción, operación y mantenimiento de ductos y redes de ductos para el transporte y distribución de gas natural, al servicio de los departamentos de Ayacucho, Cusco, Ica y Junín. En sesión de fecha 24 de julio de 2007, el Consejo Directivo de PROINVERSION aprobó una

nueva modificación del plan de promoción de la inversión privada del Proyecto “Gasoductos Regionales”, a fin de iniciar el proceso en el departamento de Ica, con acuerdo adoptado en sesión del Consejo Directivo de PROINVERSION de fecha 15 de abril de 2008, el referido Consejo acordó aprobar la versión final del Contrato de Concesión denominado “Contrato BOOT – Concesión del Sistema de Distribución de Gas Natural por Red de Ductos en el Departamento de Ica”.

Mediante R.S. N° 046-2008-EM (de fecha 21 de octubre 2008) se otorgó la concesión de distribución de gas natural en Ica a Transcogas Perú S.A.C. para la construcción de un Sistema de Distribución de Gas Natural en la Región Ica, específicamente en Pisco, Ica, Nazca y Marcota, con fecha 24 de Marzo de 2009, se firmó el Contrato de Concesión de distribución de gas natural en Ica.

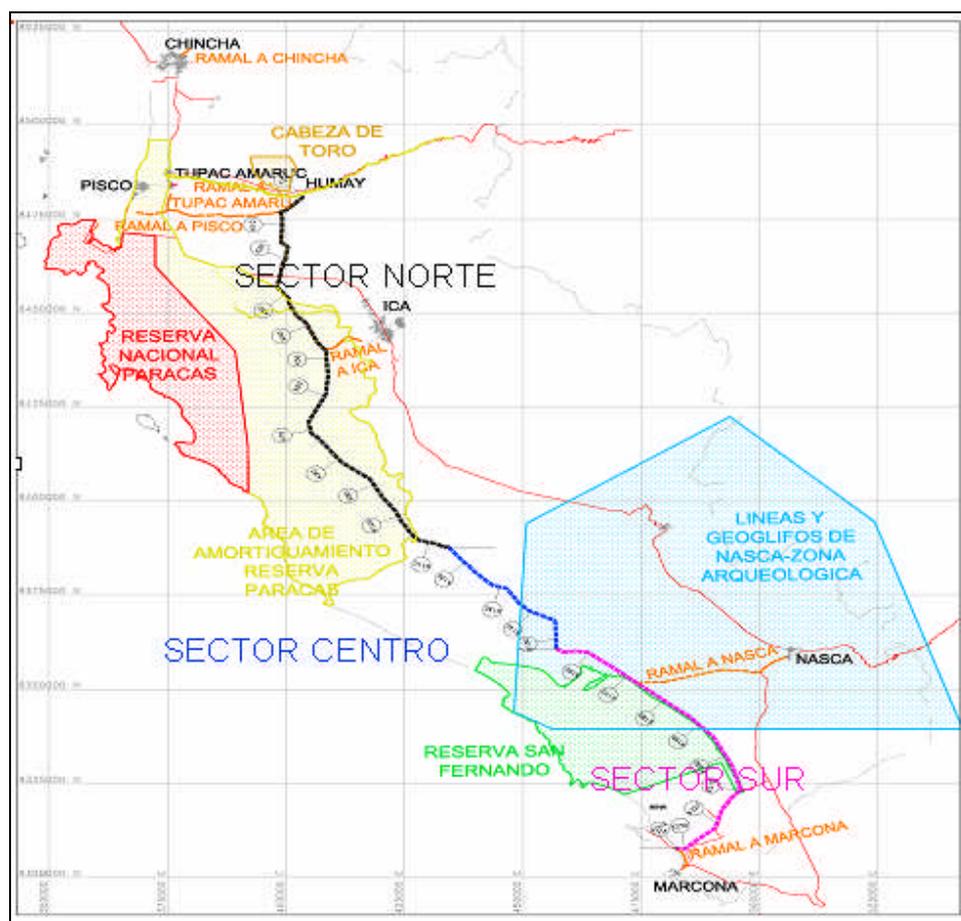
El proyecto considera a la instalación de un ducto de 20 pulgadas de diámetro para atender las regiones de Ica, Pisco, Nazca, Marcona y Chincha, la longitud estimada del ducto es de 280 km. y el inicio de operación esta estimada para el 2012. Trancogas Perú S.A.C. presento el siguiente proyecto de programa de trabajo (Cuadro 3.1), el cual aun esta en evaluación; asimismo la figura 3.2, muestra los ramales y la ruta del gasoducto del proyecto.

Cuadro 3.1: Programa de Trabajo de Trancogas Perú SAC



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Figura 3. 2: Mapa del Gasoducto – Proyecto de Trancogas Perú SAC



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

En el gráfico podemos observar que el proyecto presenta un ramal hacia Pisco y otra hacia Marcona. Como observamos, este proyecto abastecerá de gas natural el departamento de Ica, el cual nos da la certeza que nuestra planta de poliéster va a poder ser abastecida con gas natural sin ningún problema.

Distribución de medios de transporte:

La red de distribución de medios de transportes se señala en la Figura 3.3; en donde se aprecia que hay toda una red de comunicación tanto en la costa como la sierra donde se unen las principales ciudades del Perú.

Figura 3.3: Distribución del Medio de Transporte en Perú



Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones ([www.mtc.gov.pe](http://www.mtc.gov.pe))

Mano de Obra:

La mano de obra capacitada se puede encontrar en cualquiera de estas zonas elegidas; las cuales tienen universidades y centros de estudios superiores como:

Universidades en Ica:

Universidad San Luis de Gonzaga

Universidad Privada Abraham Valdelomar

Universidades en Arequipa:

Universidad Católica de Santa María

Universidad Nacional de San Agustín

Universidad Católica San Pablo

Universidades en Moquegua:

Universidad José Carlos Mariategui

i. Justificación de la Ubicación

Se analizará los diferentes criterios para lograr la ubicación idónea de una planta, calificándolas con una puntuación de 0 a 5, donde 5 es la máxima puntuación; asimismo, se seguirán las siguientes ponderaciones según el criterio a usar, de este modo se obtendrá la mejor ubicación para la futura planta.

El criterio de Efecto sinérgico de la concentración de varias plantas en un solo polo, se asigna un factor de ponderación de 4. Es necesario considerar la conveniencia de mantener en un mismo “clúster” todas las operaciones a partir de la química del metano y etano, para promover la sinergia y el efectivo manejo de los costos de servicios, un buen ejemplo es el uso del coproducto hidrógeno obtenido a partir de la producción de etileno, el cual puede usarse para maximizar la producción de amoniaco.

El criterio de Proximidad a Puerto Marítimo, se asigna un factor de ponderación de 3. Considerando que la industria petroquímica, para ser competitiva debe instalarse en grandes plantas a fin de lograr economías de escala, el mercado para el Polo Petroquímico Peruano ha de ser el mercado global (importación y/o exportación), además de su proximidad a puntos de consumo potencial en el Perú.

El criterio de Proximidad a Fuente de Materia Prima, se asigna un factor de ponderación de 5. Desde luego, la condición de proximidad a una fuente de materia prima –para el caso peruano, etano para la planta de fabricación de

plásticos es condición sine qua non. Si la ubicación considerada se hallase en una ruta de paso obligado para dichos insumos, mejor será, evitando la complicación y costo de obligar a la construcción de un gasoducto. En el caso del etano, la circunstancia de que el gasoducto principal llega a la costa en las vecindades de Pisco, obligaría a separarlo del gas natural en esa localidad.

El criterio de Proximidad al Mercado Nacional, se asigna un factor de ponderación de 2. De manera general, considerando que el mercado de polímeros (industria de plásticos) se encuentre repartido a lo largo y ancho del territorio nacional, en principio cobran especial importancia la red de vías de comunicación terrestre.

El criterio de Proximidad a Zona con infraestructura y población, se asigna un factor de ponderación de 4. La proximidad a ciudades de cierta importancia es conveniente para la empresa que se instale por la posibilidad de usar la infraestructura existente de diversos rubros: mano de obra, protección policial, logística, de mantenimiento, habitacional, hotelera, sanitaria, de entretenimiento, religiosa, etc., en apoyo de las operaciones del Polo Petroquímico.

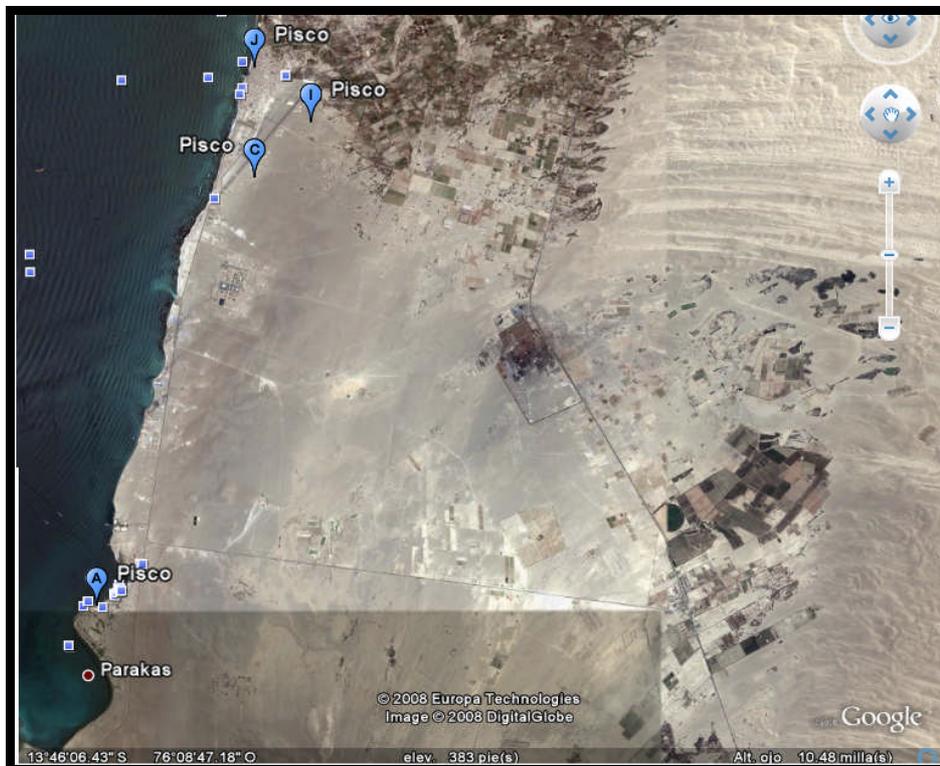
<b>Características / Ciudades</b>	<b>Ica</b>	<b>Arequipa</b>	<b>Moquegua</b>
<b>Efecto Sinérgico</b>	5x4	5x4	<b>5x4</b>
<b>Proximidad a Puerto Marítimo</b>	3x3	0x3	<b>4x3</b>
<b>Proximidad a la Materia Prima</b>	5x5	3x5	<b>3x5</b>
<b>Proximidad al Mercado Nacional</b>	5x2	3x2	<b>3x2</b>
<b>Proximidad a Zona con Infraestructura</b>	3x4	4x4	<b>2x4</b>
<b>Total</b>	<b>76</b>	<b>57</b>	<b>61</b>

## ii. Descripción de la Ubicación

El lugar idóneo para instalar la planta sería el departamento de Ica donde se encuentra una de los ramales del gasoducto; así como un terminal portuario.

La planta se puede localizar en la ciudad de Paracas y Pisco, de esta manera nos podríamos localizar entre el gasoducto y el terminal portuario.

Podría localizarse entre esta área



A continuación describiremos algunas características de la ciudad de Ica

### **Locación y área de influencia** – facilidades portuarias

La provincia de Pisco cuenta con el Terminal Portuario “General San Martín”, mejor conocido como Terminal Pisco. Pese a ser una antigua zona de lanchaje del puerto de Pisco, se localiza a 4 millas del puerto y pueblo de Pisco a través de la bahía y a unos 45 km del mismo por carretera. El Terminal Pisco se encuentra localizado al NE del puerto y pueblo de Pisco, en el extremo de la península de Paracas, en un lugar denominado “Punta Pejerrey”, a unos 300 km por carretera al sur de Lima, y a 132 millas náuticas desde el puerto del Callao. El muelle es de tipo marginal con 700 Metros de longitud, y está dividido en cuatro amarraderos (1A, 1B, 1C, 1D). Los buques pueden ser amarrados por babor o estribor dependiendo de la carga o características del buque.

Cuadro 3.2: Ciudades alrededor de Pisco

Ubicación Relativa	Referencia Geográfica.	Distancia Terrestre
Al norte	Lima, ciudad capital	250 kM
Al norte	Provincia de Chincha.	50 kM
Al este	Región de Huancavelica.	274 kM
Al sur	Provincia de Ica.	97 kM
Al oeste	Océano Pacífico.	-

### **Accesos**

Pisco posee accesos terrestres, marítimos y aéreos, los cuales podrían ser empleados para el transporte de materias primas y productos finales provenientes del Polo Petroquímico.

#### **Acceso terrestre**

Desde Lima a través de la carretera Panamericana Sur (km 231), y un desvío de 8 km. Posee también un acceso a la carretera asfaltada que conecta con la región Ayacucho (Vía de Los Libertadores), que también atraviesa la región Huancavelica.

#### **Acceso aéreo**

A través del aeropuerto de Pisco, actualmente bajo administración y operación privada a cargo de Aeropuertos del Perú S.A. (ADP) con compromisos de inversión hasta por US \$ 35 millones para la mejora y ampliación de sus instalaciones: construcción de terminales de carga con capacidad para 200 TM y de pasajeros con capacidad para recibir hasta 200 personas<sup>96</sup>. Además, zonas de estacionamiento de vehículos y servicios. Actualmente cuenta con una pista de 45 Metros x 3020 Metros que le permite recibir aviones tipo B747. El aeropuerto Pisco se halla a 14 msnm.

### **Red de distribución de productos al mercado nacional**

Pisco es un punto importante de la red de distribución de productos a nivel nacional, pues es una ciudad con acceso directo al transporte terrestre, marítimo y aéreo. Transporte terrestre a través de la carretera Panamericana, importante vía de comunicación del país. Transporte marítimo, a través del Puerto General San Martín. Transporte aéreo, a

través del Aeropuerto Pisco, al que pueden acceder aviones de vuelos comerciales y de transporte de carga.

La distribución de productos al mercado nacional se realiza principalmente por vía terrestre. Además, existe cabotaje de GLP y Diesel entre la planta de Pluspetrol ubicada en Pisco y el Terminal de la Refinería La Pampilla y Sol Gas en Ventanilla, Callao.

### **Disponibilidades energéticas**

#### Disponibilidad de energía eléctrica

La provincia de Pisco dispone de energía eléctrica proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado. Las principales centrales cercanas son la central térmica de San Nicolás ubicada en la provincia de Ica y las centrales hidroeléctricas del Mantaro y de Restitución ubicadas en la región de Huancavelica.

#### Disponibilidad de gas

Actualmente la zona de Pisco es el punto de llegada a la costa del gasoducto de Camisea. Por tanto dispone de suministro de Gas Natural.

## CAPITULO IV: ESTUDIO DE MERCADO

Para identificar el mercado nacional de envases de PET de productos de consumo masivo, se procedió a buscar información relacionada a la importación y exportación tomando como año base 1998 hasta el 2008. La información que se presenta en los siguientes cuadros y gráficos procede de las partidas arancelarias de la base de datos estadísticos de importación y exportación del Página Web de la entidad estatal de Aduanas, encargada del control y fiscalización del comercio exterior en el país.

En el cuadro siguiente se presenta las partidas arancelarias (CNAN) que sirven de base estadística para la identificación del estado actual del mercado de empaques rígidos utilizando la resina o preforma de PET.

Información de partidas arancelarias referidas al PET

RUBRO	CNAN	DESCRIPCIÓN
RESINA PET	3907600090	Otros politereftalato de etileno
	3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio
RESIDUOS PET	3915900000	Desechos, recortes y desperdicios de los demás plásticos
PREFORMAS PET	3923309000	Botellas, frascos y artículos similares, capacidad < 18,9 lt.

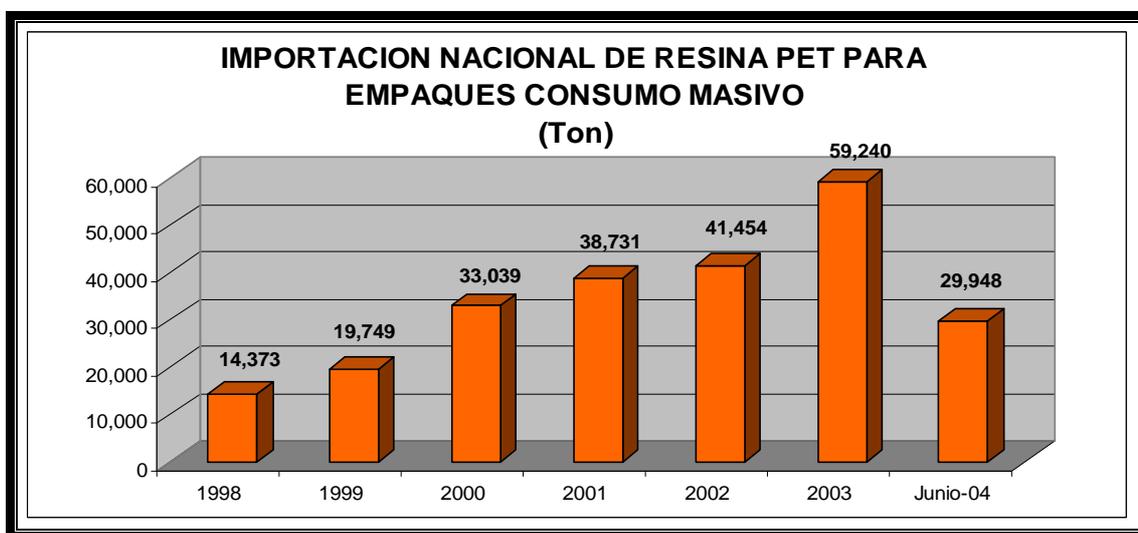
Fuente: Página Web de Aduanas – Setiembre 2004

En el cuadro siguiente se presenta los datos de importación y exportación de PET en sus presentaciones como resina, preforma y residuos durante los años de 1995 hasta el año 2008, donde en el año 1998 se presenta el punto de quiebre de este sector manufacturero, los volúmenes de importación de preforma PET al mercado nacional se reducen y se incrementan los niveles de exportación de la preforma PET.

### a) Resina de PET

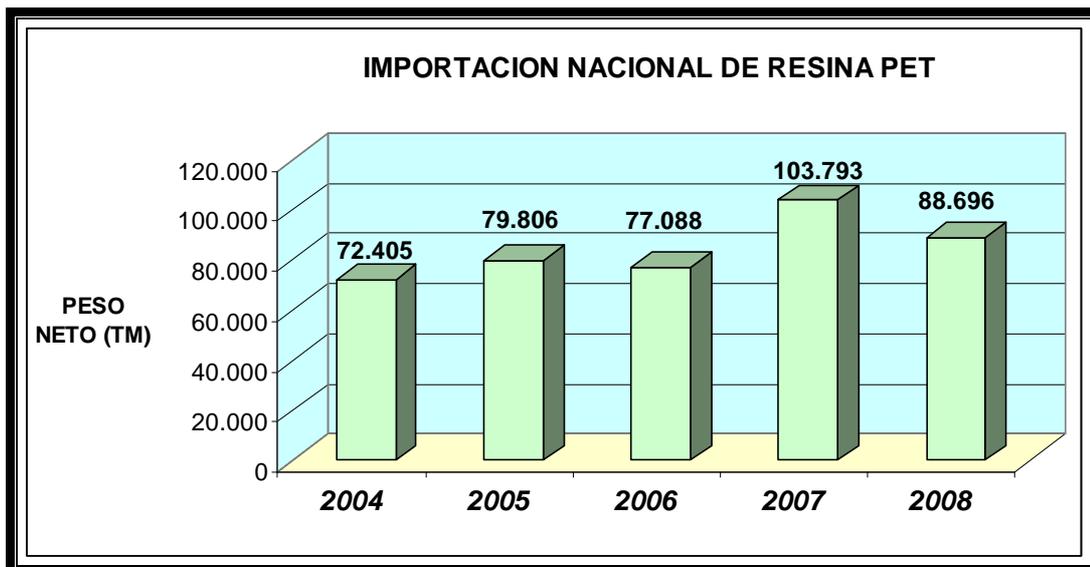
La resina de PET sirve como insumo para muchos productos de la industria y del hogar. Es por ello que su consumo se ha incrementado con los años, tal como se muestra en el gráfico, en el año 1998 se consumió 14,000 Ton. y durante el año 2003 se ha consumido mas de 59,000 Ton, lo que indica que en un periodo de cinco años el consumo de resinas de PET se ha incrementado cuatro veces con respecto al año 1998.

#### Importación de Resina de PET para empaques rígidos de consumo masivo



Fuente: Información Estadística de Aduanas – Junio 2004

En el año 2004 se consumió 72,000 Ton. y durante el año 2008 se ha consumido mas de 88,000 Ton, siguiendo esta tendencia creciente se estima que en el año 2015 el consumo de resinas de PET se habrá incrementado dos veces con respecto al año 2004.

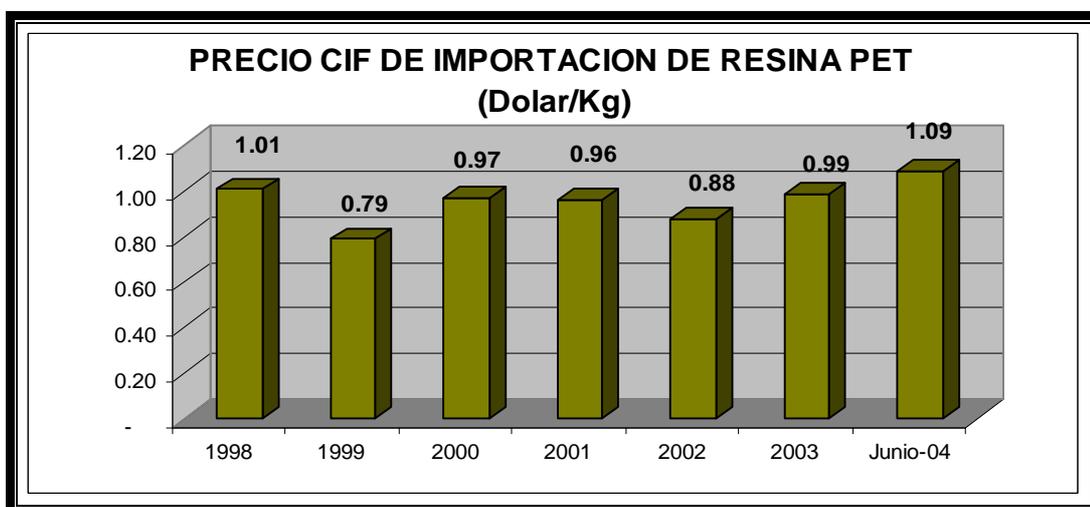


Fuente: Información Estadística de Aduanas – 2009

Respecto al precio unitario CIF/Dólar de importación de la resina de PET, también ha variado durante este periodo debido al incremento de su consumo en los diversos sectores económicos.

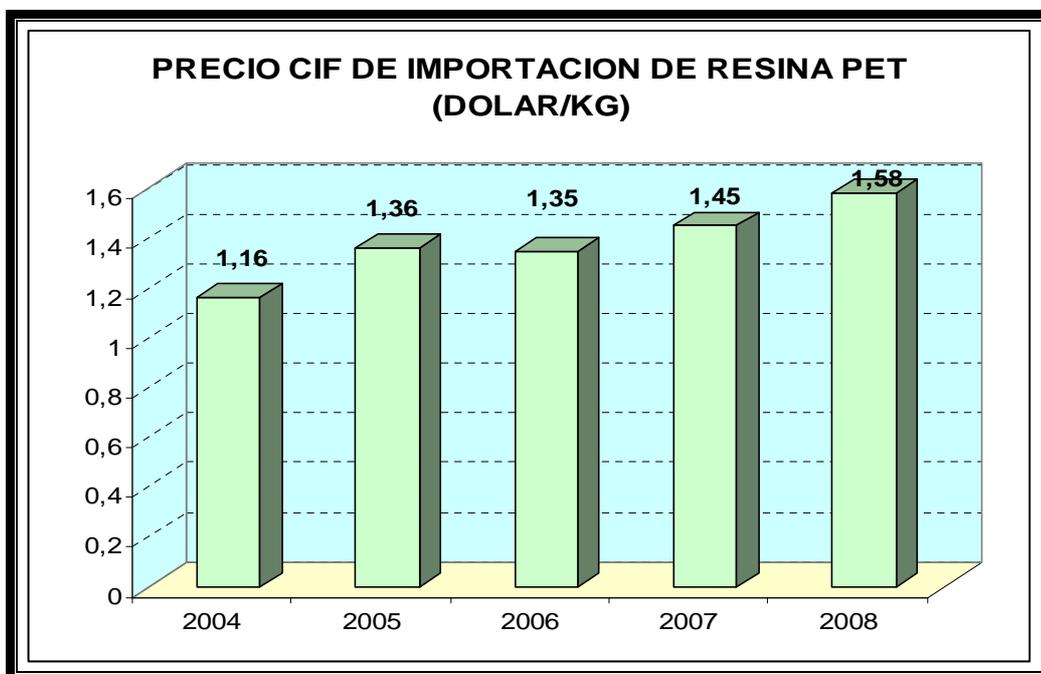
El precio más alto fue durante el año 1998 donde el Kg. de resina de PET costaba 1.01 dólar para luego descender a 0.79 dólar /Kg. Durante el año 2004 el precio unitario de la resina PET se ha incrementado y esa tendencia se mantiene por la demanda existente de los países asiáticos por este producto.

**Precio CIF de Importación de Resina de PET (Dólares Americanos / Kg)**



Fuente: Información Estadística de Aduanas – Junio 2004

En los últimos años el precio de importación de la resina PET ha tenido una tendencia creciente. Durante el año 2008 el precio unitario de la resina PET se ha incrementado a 1.58 dólar /Kg y esa tendencia se mantiene por la demanda existente de los países asiáticos por este producto.

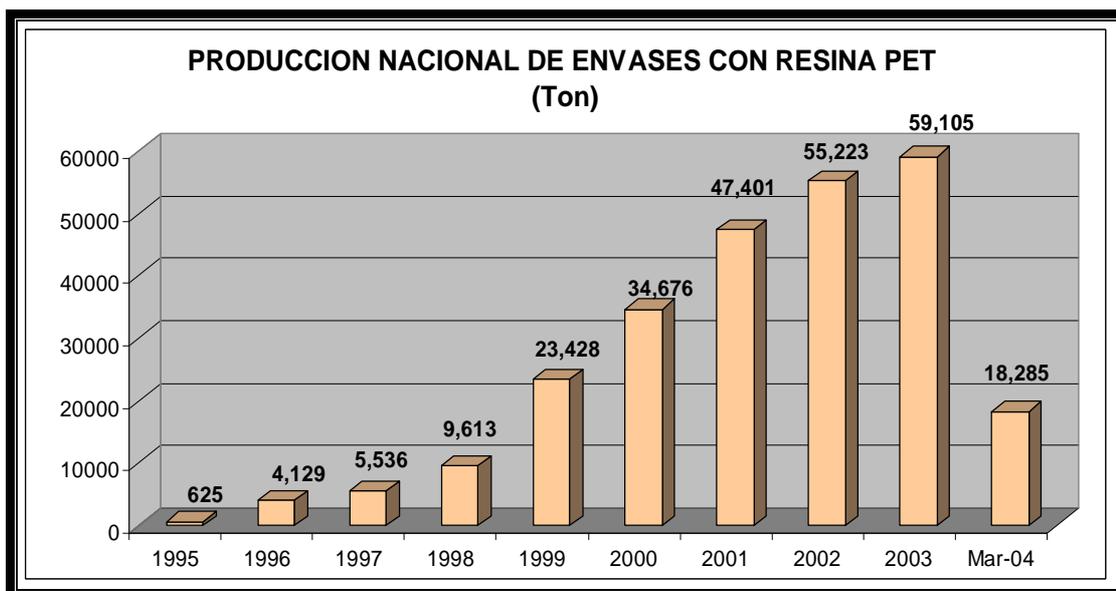


Fuente: Información Estadística de Aduanas – 2009

#### b) Envases de PET

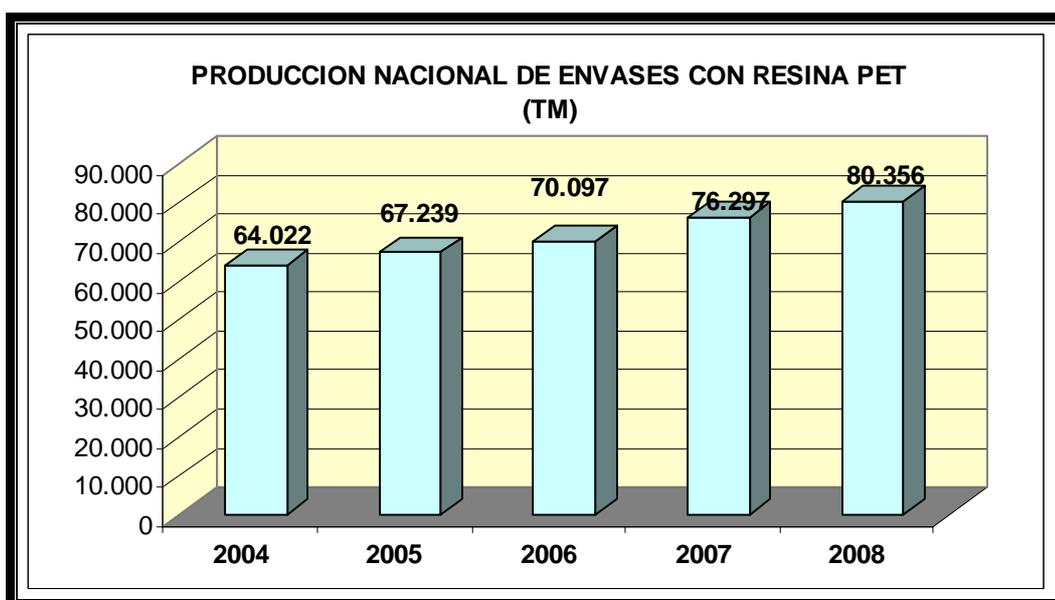
La producción nacional de envases con la resina PET se ha incrementado paulatinamente, pero es en el año 1999 donde se produce un incremento superior al 150% respecto al año anterior. Esta producción nacional está orientada principalmente a la elaboración de los envases de gaseosas, aceites, vinagres y otros productos de menor comercialización.

En el año 1996 la producción nacional de envases de PET era de 4,129 toneladas, pero al año 2003 esta cantidad se incrementa en casi quince veces el consumo del año 1996.



Fuente: Oficina de Estadística del Viceministerio de Industria – Junio 2004

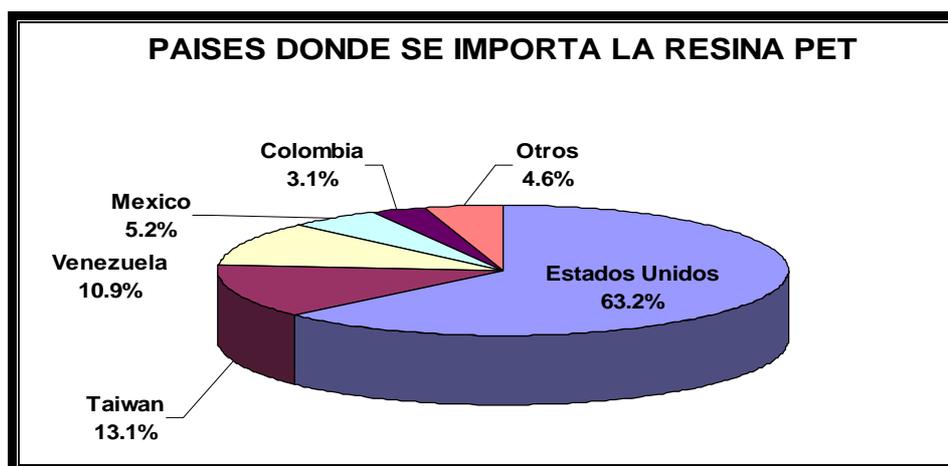
En el año 2004 la producción nacional de envases de PET era de 61,937 toneladas y ha tenido un incremento para los años siguientes. En el año 2008 la producción nacional fue casi 90,000 toneladas, esto se debe entre otras cosas a la utilidad de esta resina como empaque de productos de consumo, principalmente en la industria de las bebidas gaseosas por el cambio paulatino de los envases de vidrio.



Fuente: Anuario de Importación-ADUANAS 2008

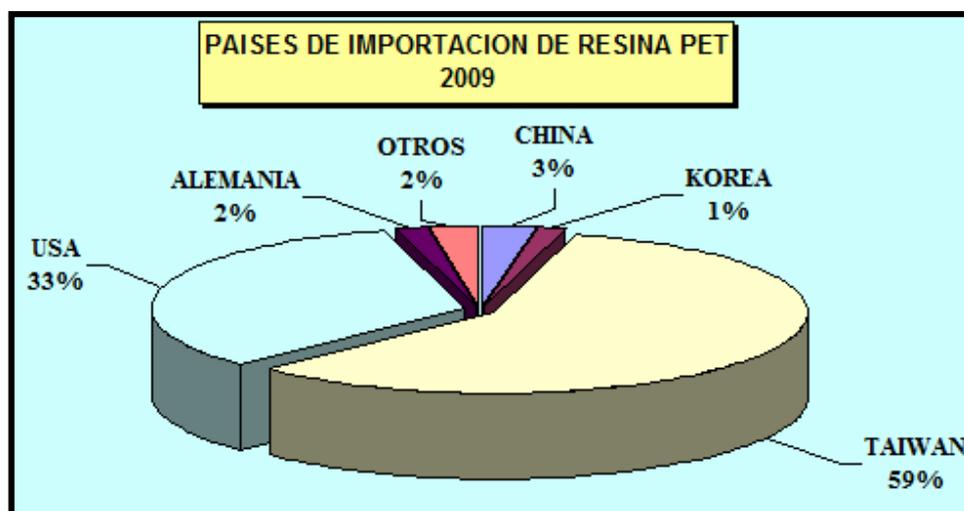
### c) Importación de Resina PET

Durante el periodo de 1995 a Junio 2004, los principales países de importación de resina PET por parte de los empresarios nacionales fueron Estados Unidos (63.2%), Taiwán (13.1%) y Venezuela con el 10.7%, los demás países tienen cuotas más pequeñas de participación en el segmento de este mercado de resinas PET.



Fuente: Información Estadística de Aduanas – Junio 2004

Los principales países de importación de resina PET por parte de los empresarios nacionales fueron durante el año 2009, Taiwán (59%), USA (33%) y China (3%), los demás países tienen cuotas más pequeñas de participación en el segmento de este mercado de resinas PET.



Fuente: Información Estadística de Aduanas – Noviembre 2009

## ANUARIO DE IMPORTACION 2004-2008

Partida	Descripción	FOB 2004 ( M\$ )	CIF 2004 ( M\$ )	Peso Neto 2004 ( TM )
3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio	67197,384	69546,993	59322,766
3907600090	Los demás politereftalato de etileno	13330,546	14346,699	13081,911
3907601000	Politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
3907609000	Los demás politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
TOTAL 2004		80527,930	83893,692	72404,677

Partida	Descripción	FOB 2005 ( M\$ )	CIF 2005 ( M\$ )	Peso Neto 2005 ( TM )
3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio	91444,891	95672,894	69083,487
3907600090	Los demás politereftalato de etileno	12058,723	13107,085	10722,776
3907601000	Politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
3907609000	Los demás politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
TOTAL 2005		103503,614	108779,979	79806,263

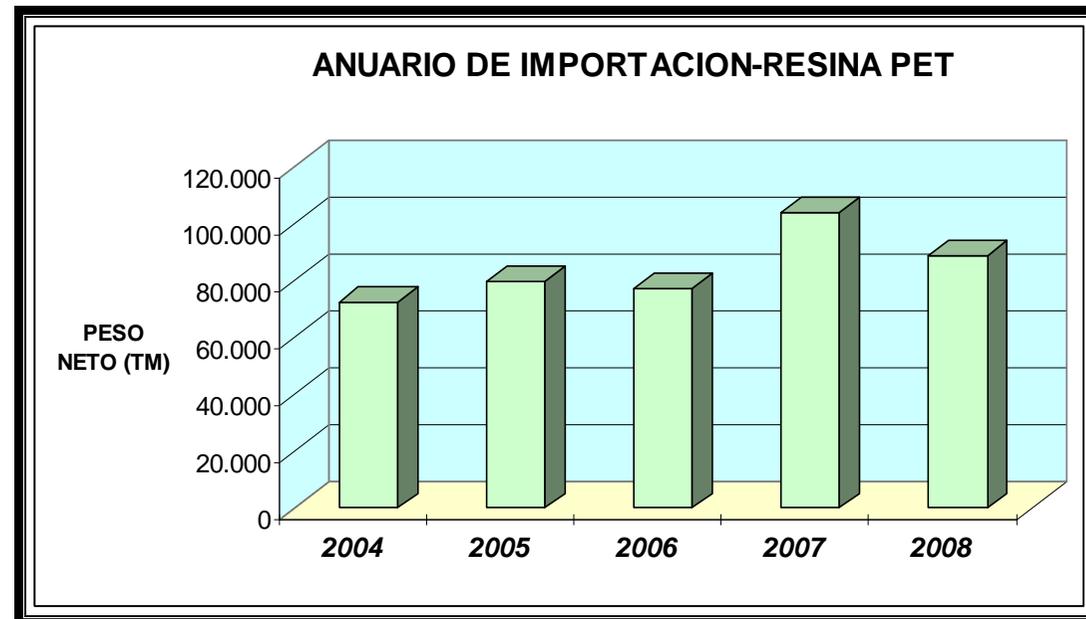
Partida	Descripción	FOB 2006 ( M\$ )	CIF 2006 ( M\$ )	Peso Neto 2006 ( TM )
3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio	86465,999	91001,395	66584,014
3907600090	Los demás politereftalato de etileno	12035,043	12948,918	10503,870
3907601000	Politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
3907609000	Los demás politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	0,00	0,00	0,00
TOTAL 2006		98501,042	103950,313	77087,884

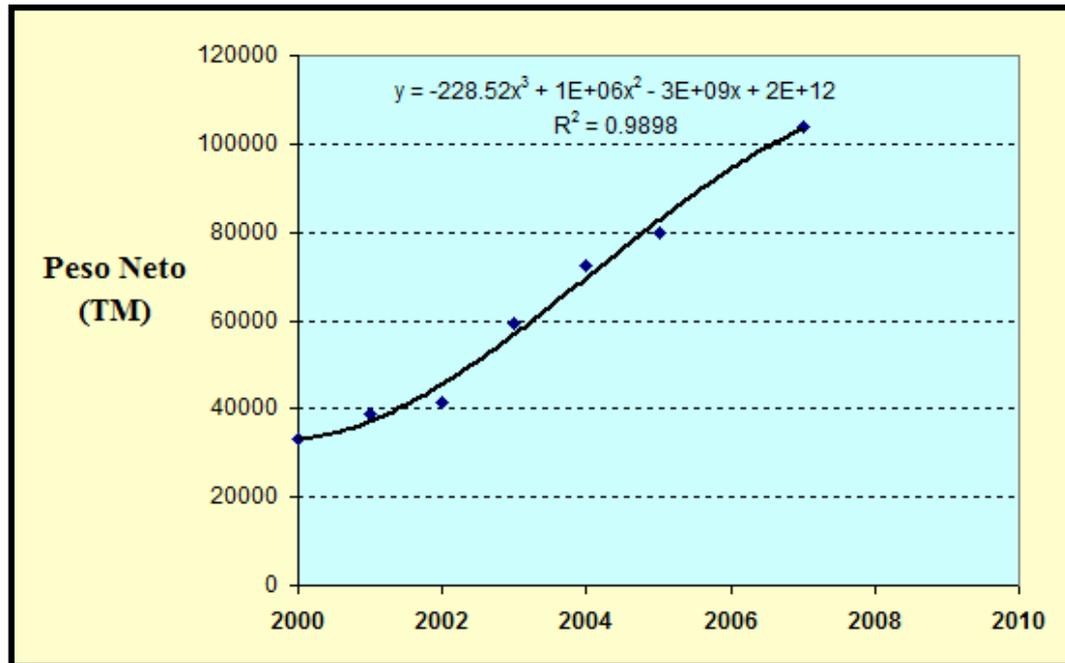
Partida	Descripción	FOB 2007 ( M\$ )	CIF 2007 ( M\$ )	Peso Neto 2007 ( TM )
3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio	32011,840	33372,490	23863,274
3907600090	Los demás politereftalato de etileno	3947,289	4233,865	3348,554
3907601000	Politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	10830,294	11733,693	9030,679
3907609000	Los demás politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	96792,858	101130,036	67550,610
TOTAL 2007		143582,281	150470,084	103793,117

Partida	Descripción	FOB 2008 ( M\$ )	CIF 2008 ( M\$ )	Peso Neto 2008 ( TM )
3907600010	Politereftalato de etileno sin adición de dióxido de titanio	0,000	0,000	0,000
3907600090	Los demás politereftalato de etileno	0,000	0,000	0,000
3907601000	Politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	14510,626	15573,423	10633,56
3907609000	Los demás politereftalato de etileno con adición de dióxido de titanio	117931,857	124446,196	78062,356
TOTAL 2008		132442,483	140019,619	88695,916

## RESUMEN

AÑO	FOB ( M\$ )	CIF ( M\$ )	Peso Neto ( TM )
2004	80527,930	83893,692	72404,677
2005	130503,614	108779,979	79806,263
2006	98501,042	103950,313	77087,884
2007	143582,281	150470,084	103793,117
2008	132442,483	140019,619	88695,916





Luego de los análisis realizados se puede extrapolar la cantidad de resina PET importada por el Perú y determinar de este modo el volumen necesario para cubrir la demanda de resina PET en el mercado nacional. Se hizo un estimado para obtener el peso neto para el año 2015, el cual da como resultado 137,865.195 al 80% de capacidad instalada.

## CAPITULO V : ESTUDIO TECNICO

En el presente capítulo se estudiará cada proceso empleado para la obtención del polietilentereftalo (PET) a partir del etano; asimismo, se justificará la importación del ácido tereftálico (PTA). En la Figura 5.1 se puede apreciar el esquema total de los procesos usados en la planta de estudio así como su balance general.

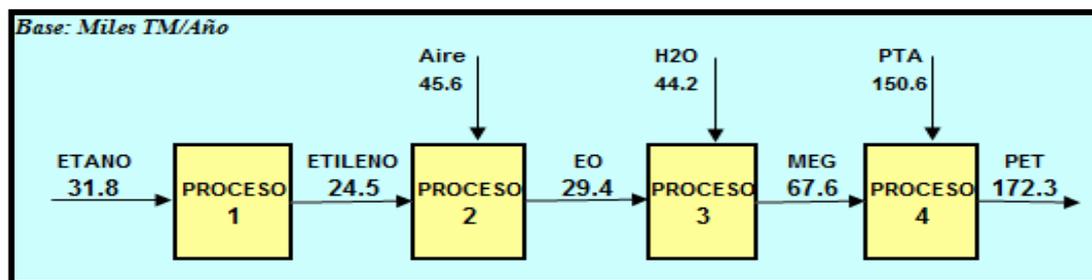


Figura 5.1: Esquema general para la producción del PET

### a) Obtención del Etileno

#### i. Introducción

Las olefinas son hidrocarburos acíclicos insaturados en el cual los de mayor importancia son el etileno, propileno, n-buteno, butadieno e isopreno. En el caso del etileno se puede obtener por medio del proceso llamado Steam Cracking, usando como carga el etano extraído del gas natural.

#### Descripción del proceso (STEAM CRACKING)

Este proceso tiene lugar la rotura de los enlaces C-C con producción de radicales libres y consta de zonas bien diferenciadas, Zona Caliente, en donde se tiene lugar las reacciones de cracking y la Zona Fría, donde se separa los productos formados.

## 1. Zona Caliente

El etano con el vapor de dilución se precalienta en la zona de convección del horno de cracking y juntos pasan a la zona de radiación del horno donde tiene lugar las reacciones principales. Para evitar que se desarrollen reacciones secundarias que conlleva a la formación de productos no deseados se procede a enfriar rápidamente los efluentes que salen del horno por medio de un intercambiador, con el cual se aprovecha además el calor para generar vapor de agua de alta presión.

Una vez enfriado el producto se procede a un fraccionamiento primario para separar el producto pesado (fuel oil) de los ligeros (gases+nafta de pirolisis). De estos últimos, se separan los gases los cuales son licuados (menos de  $-73^{\circ}\text{C}$ ) y comprimidos (efecto Joule-Thompson) hasta una presión necesaria y enviados a la zona fría.

En la zona caliente los aspectos más importantes son:

- Vapor de agua, siendo este un inerte genera una disminución en la presión parcial de los hidrocarburos disminuyendo la formación de coke. También favorece la transmisión de calor por su alta conductividad térmica. Su efecto oxidante sobre las paredes de los tubos produce una disminución del efecto catalítico del hierro y el níquel que son generadores de la formación de coke.
- El horno de cracking, la diferencia fundamental esta en la zona de radiación donde los serpentines son en realidad reactores. Los tiempos de residencia están en el rango de 0.5 a 1.2 segundos para maximizar la producción de olefinas.
- Separación de gases ácidos y agua, de los gases que van a la zona fría debido a que estos gases ácidos contienen azufre (en

forma de H<sub>2</sub>S y mercaptanos), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> formado en las reacciones de vapor con coke) y agua para evitar la formación de hidratos.

- Los gases ácidos serán lavados con monoetanolamina (MEA) y/o con sosa. El agua será extraído con glicol y/o desecantes sólidos como la alúmina, fluorita y el driosel.

## 1. Zona Fría

En esta zona los gases que salen de la zona caliente son sometidos a una serie de separaciones por medio de columnas de destilación para obtener los productos deseados. Debido al efecto Joule-Thompson, que consiste en elevar la presión y seguidamente efectuar una expansión isoentrópica, se genera niveles de frío adecuados para separar los hidrocarburos.

Tabla N° 5.1

<b>Hidrocarburo</b>	<b>T (ebullición °C)</b>
Metano	-161
Etano	-88.9
Etileno	-103
Propileno	-47.5
Butadieno	-4.3

En la zona fría la alimentación (hidrocarburos gaseosos) ingresan a la primera columna de destilación (demetanizadora), en donde se extrae el hidrogeno y el metano por el tope. Opera con un perfil de presiones entre 33.5 y 8 bar y un perfil de temperaturas desde -98 y -130°C.

Los productos que salen del fondo pasan a una por una segunda columna llamada deetanizadora, en donde se separa el etano y el etileno que salen por el tope hacia una tercera columna donde estos son separados uno del otro. La alimentación a esta columna es a

condiciones de 31 Kg/cm<sup>2</sup> y -35°C. El etileno obtenido en esta última columna tiene una pureza de 98-99% que es suficiente para la fabricación de óxido de etileno.

El producto de fondo de la deetanizadora se envía a una columna llamada depropanizadora, en donde se separa por el tope una mezcla de propano-propileno y por el fondo salen los hidrocarburos C<sub>4+</sub> y C<sub>5+</sub> que luego serán separados en otras columnas donde se obtienen butenos, isobutenos, butano, isobutano, butadieno entre otros.

Tabla N° 5.2 Rendimientos de carga para un proceso de Steam Cracking.

PRODUCTOS	CARGAS				
	Componentes del GN			Fracción de Petróleo	
	Etano	Propano	Butano	Nafta	Gas oil
Etileno	0.8	0.4	0.36	0.23	0.18
Propileno	0.03	0.18	0.20	0.13	0.14
Butileno	0.02	0.02	0.05	0.15	0.06
Butadieno	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04
Fuel Gas	0.13	0.38	0.31	0.26	0.18
Gasolina	0.01	0.01	0.05	0.18	0.18
Gas Oil	-	-	-	0.01	0.12
Residuos	-	-	-	-	0.10

La tabla N°5.2 muestra las diferentes cargas usadas en los procesos sobre la formación y distribución de sus productos con respecto a sus rendimientos promedio.

Por ejemplo, cuando se usa etano como carga según las condiciones de operación que se empleen en el proceso, esta nos puede dar 80% de etileno, 3% de propileno, 2% de butileno, 1% de gasolina, etc.

## SELECCIÓN DE TÉCNOLOGÍAS

### 1. Tecnologías disponibles para la producción de olefinas

A nivel mundial se tiene una gran variedad de tecnologías para la producción de etileno entre las cuales se pueden mencionar según su distribución porcentual de la capacidad instalada de fabricación de etileno a las siguientes tecnologías:

Tabla N° 5.3

<b>Proceso</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
ABB-Lummus	38
Stone & Webster	25
Braun	13
Kellog	11
Linde	8
Otros	5

La tecnología de ABB-LUMMUS (ver Tabla N° 5.3) es el proceso más aplicado en todo el mundo para la producción de etileno en grado polímero por el proceso STEAM CRACKING. El proceso es particularmente bien conocido por su funcionamiento, incluyendo la eficiencia en producción y energía, bajo costo de inversión y su confiabilidad de operación. Clientes han seleccionado la tecnología de ABB Lummus para más de 175 proyectos. Lo cual contabiliza cerca del 40% de la capacidad de etileno a nivel mundial. La experiencia de ABB Lummus abarca diseño plantas para capacidades hasta los 1500 TM/año y alimentaciones desde etano hasta gas oil.

#### ii. Descripción del Proceso ABB-Lummus

La alimentación ala planta de etileno puede ser etano, propano, nafta o gas oil. La alimentación fresca (cualquiera de las materias primas anteriormente mencionadas) y etano reciclado son craqueados térmicamente en presencia de vapor en un horno reactor, conformado

por un banco de tubos donde se efectuará la pirólisis. La corriente de gas es enfriada inmediatamente generando vapor de agua.

Posteriormente la corriente de gas es comprimida en un tren de compresores centrífugo en 4 o 5 etapas. Los gases ácidos son removidos por absorción con MEA (Monoetanol amina) y/o soda cáustica, y seguidamente son secados sobre tamices moleculares por adsorción.

La recuperación de productos toma lugar bajo condiciones criogénicas por intercambio de corrientes frías y aplicando el efecto Joule-Thompson. Los componentes acetileno son hidrogenados en sistemas catalíticos y el hidrógeno es recuperado vía PSA (Pressure Swin Adsorption) o metanización. El metano excedente es recuperado y usado como combustible en el horno reactor de la planta.

El etileno en grado polímero es obtenido en un torre de fraccionamiento que esta altamente integrada para reducir el consumo de energía. La mezcla C3+ (propileno + C4s y nafta de pirólisis) también son recuperados.

#### 1. Características de Funcionamiento

El etileno en grado polímero es un producto de alta pureza. La secuencia de recuperación asegura los más bajos niveles de impureza por tal motivo el producto olefínico es la alimentación preferida para plantas de polímeros y derivados.

El consumo de energía es solo 3190 Kcal / kg de etileno producido con alimentación de etano y 5000 Kcal / kg con alimentación de nafta. Los productos de pirólisis y la relación de propileno a etileno son optimizados para cada diseño.

ABB-Lummus ha desarrollado una nueva tecnología de etileno que es capaz de alcanzar los siguientes objetivos:

- Reducir en un 15 por ciento el costo de capital de una planta de etileno por medio de la supresión de mas 85 componentes de equipamiento.
- Reducir en un 12 por ciento la energía necesaria para el proceso y, en la misma proporción, las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Modificar el proceso químico pasando de subproductos de bajo costo a productos con mayor valor agregado, incrementando así el margen de utilidad en un 30 por ciento.

Estas soluciones son una combinación de distintas innovaciones:

- SRT X, nuevo diseño del horno de fraccionamiento:  
El corazón del proceso ABB-Lummus es el módulo del horno de pirólisis SRT® diseñado para tiempos de residencia cortos y bajas presiones. Este diseño de alta capacidad del horno se caracteriza por su alta producción, mínima degradación de productos, su eficiencia térmica y sus largos períodos de funcionamiento sin necesidad de mantenimiento (patente Quick Quencher TLE).

Los calentadores de fraccionamiento representan aproximadamente el 30 por ciento del costo de capital de una planta de olefinas. La aplicación de la dinámica de fluido computarizada (CFD) aumenta en un 30 por ciento el aprovechamiento de la energía de este reactor y reduce en un 10 por ciento los costos de capital.

- Tecnología CDHydro®, es utilizado para hidrogenación de acetilenos C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Este procedimiento combina único combina simultáneamente la reacción y la destilación en

una unidad (vessel). Basada en la tecnología de destilación catalítica de CDTECH®, el hidrógeno en el escape del calentador de fraccionamiento se extrae por medio de una reacción química y no por fraccionamiento criogénico. Con la incorporación de la tecnología CDHydro® para etileno como primer producto, el costo de capital puede reducirse en más de 15 millones de dólares.

➤ Para la separación de productos:

En las plantas de olefinas se necesita una gran capacidad de refrigeración para separar los productos con bajo punto de ebullición. El método convencional consta de tres sistemas de refrigeración distintos, con cambio de temperatura desde +20°C hasta -140°C. ABB-Lummus ha desarrollado sistemas de refrigeración permitiendo un ahorro sustancial en los compresores, que suelen suponer el 20 por ciento de la inversión en la planta.

➤ Se mencionó que las olefinas se producen a partir de diversas materias primas con una reacción térmica de alta temperatura (aproximadamente 900°C) en un Horno Reactor con un consumo energético del orden de 250 MW por año. En este proceso se forman numerosos productos, desde hidrógeno hasta fuel oil. El control de las condiciones de reacción aumenta la cantidad de olefinas ligeras como etileno, propileno y butenos, pero además de estos productos se producen algunas moléculas indeseables. Estos subproductos tienen un efecto negativo sobre los resultados finales de la planta. Por este motivo esta tecnología introduce dos procesos químicos al que denominan OCT y Automet.

Estos dos procesos utilizan la metátesis (trans-alquilación) química para mejorar los subproductos. Esta química permite reordenar los enlaces dobles entre

olefinas. Además de permitir a los operadores de plantas mejorar los subproductos, la metátesis química proporciona flexibilidad como protección contra las incertidumbres del mercado.

## 2. Ventajas de la Tecnología

Tabla N° 5.4

<b>Características del proceso ABB Lummus</b>	<b>Beneficios para el cliente</b>
Modulo de pirolisis SRT	Alta producción de olefinas, Largos tiempos de operación, Operación confiable, baja inversión y flexibilidad en la alimentación.
Decoquificación en línea (BASF)	Menos mantenimiento y reducción de las emisiones
Sistema de procesamiento de crudos pesados – Heavy Oil Processing System (HOPS)	Habilidad para craquear HNGL, elimina contaminantes de la alimentación y baja inversión.
Secuencia de recuperación del demetanzador a baja presión	Eficiencia en energía, baja inversión, flexibilidad en la inversión y fácil operatividad.
Proceso CD HYDRO para remoción de acetileno C <sub>3</sub> y C <sub>4</sub>	Alta selectividad, bajo costo y fácil operatividad.
Hidrogenación selectiva de C <sub>4</sub> - C <sub>5</sub> y síntesis de MTBE /TAME	Mejora los márgenes por generación de componentes reformulados del combustible.
Refrigeración binaria y terciaria	Sistema de refrigeración mixta metano/etileno de bajo costo y fácil mantenimiento.
Tecnología de conversión	Flexibilidad de producción para conseguir olefinas de alto valor.

Para el proyecto de la planta de Steam Cracking para la producción de Etileno se obtuvieron los siguientes valores

**Tabla 5.5**

ABB LUMMUS			
ALIMENTACION	Kg/h	%MASA	TM/año
Etano	4061.72	0.998	32493.78
vapor	8.14	0.002	65.12
TOTAL	4069.86	1.000	32558.89
PRODUCTOS	Kg/h	%MASA	TM/año
Etileno	3129.72	0.769	25037.79
H2+CH4 off gas	577.92	0.142	4623.36
C3+	358.15	0.088	2865.18
Gases ácidos	4.07	0.001	32.56
TOTAL	4069.86	1.000	32558.89
Conversión		80%	
Etano Reciclo	812		6496

## b) Obtención del Oxido de etileno (OE)

### i. Introducción

El oxido de etileno es producido comercialmente por la oxidación del etileno en fase vapor sobre un catalizador a base de plata. La selectividad del óxido de etileno depende del catalizador empleado. El desarrollo de nuevos catalizadores tiene como objetivo desarrollar catalizador selectivo a base de plata para minimizar la combustión del etileno a dióxido de carbono, monóxido de carbono y agua. Las reacciones son las siguientes:



- Menos equipos usados significa menos puntos de emisión fugitiva y episódica.
- No hay efluentes continuos que requieran tratamientos de agua residuales.

## ii. Descripción del Proceso

El etileno y oxígeno (o aire) entran a un reactor catalítico de lecho fijo a una presión de 10 – 30 bar con una temperatura de 400 – 500 °F. El catalizador consiste en anillos o esferas de plata. Los gases de salida del reactor son alimentados al scrubber del CO<sub>2</sub> y luego al scrubber del óxido de etileno (OE) el cual absorbe el óxido de etileno en la fase líquida.

El OE es recuperado de los líquidos en el desorbedor y destilado para eliminar el agua.

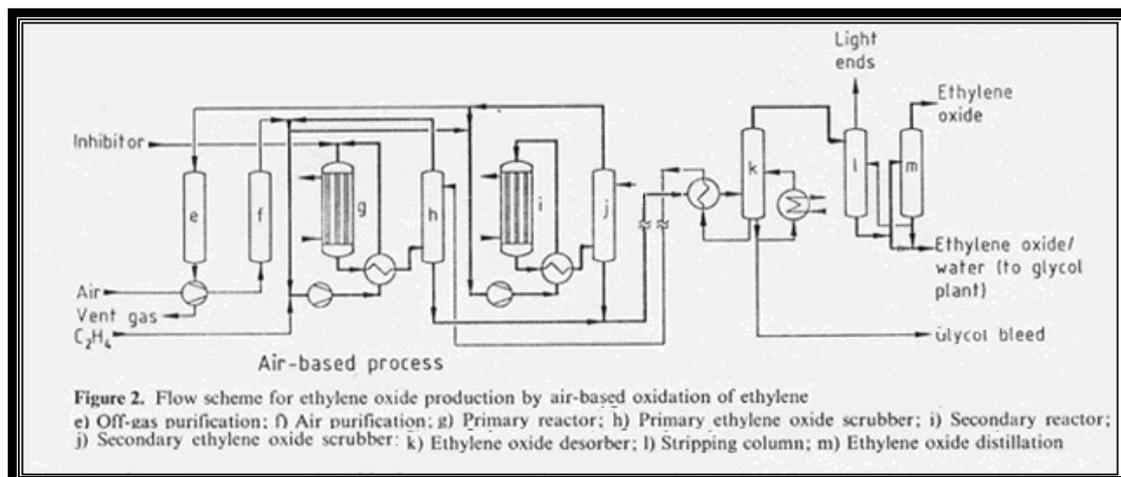
En el proceso de aire, el scrubber del CO<sub>2</sub> no es usado debido a que el gas de purga de inertes (mayormente N<sub>2</sub>) es suficiente para eliminar el CO<sub>2</sub>. El etileno no reaccionado es alimentado a un segundo reactor de lecho fijo y luego separado.

La pureza del óxido de etileno es típicamente mayor del 99.5%. El catalizador de plata está diseñado para favorecer una oxidación selectiva (epoxidación) sobre la oxidación total (combustión) limitando la disponibilidad de los sitios activos.

La plata es apoyada en óxido de aluminio puro con poros de diámetro de 0.5 a 5 micrómetros y con una área específica menor de 2 m<sup>2</sup>/g. La consideración de este catalizador menos activo es promover la oxidación parcial del etileno y no la combustión de este.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la producción de óxido de etileno producido con oxígeno o aire.

Figura 5.2 : Esquemas de la Producción del Oxido de Etileno



Fuente: [www.che.lsu.edu/COURSES/4205](http://www.che.lsu.edu/COURSES/4205)

En el diagrama siguiente se observa el balance de masa general del proceso de la producción del oxido de etileno

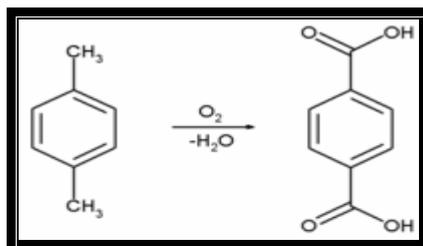
Tabla 5.6

DOW CHEMICAL			
<b>ALIMENTACION</b>			
<b>Etileno</b>	<b>3129.72</b>	0.350	25037.79
Aire	5812.34	0.650	46498.75
<b>TOTAL</b>	<b>8942.07</b>	1.000	<b>71536.54</b>
<b>PRODUCTOS</b>			
<b>Oxido de Etileno</b>	<b>3755.67</b>	0.420	30045.35
Nitrógeno	4560.45	0.510	36483.64
Etileno	625.94	0.070	5007.56
<b>TOTAL</b>	<b>8942.07</b>	1.000	<b>71536.54</b>
Conversión		95%	

### c) Obtención del Acido Tereftálico (PTA)

#### i. Introducción

El ácido tereftálico (PTA) es producido por la oxidación de p-xileno con oxígeno del aire.

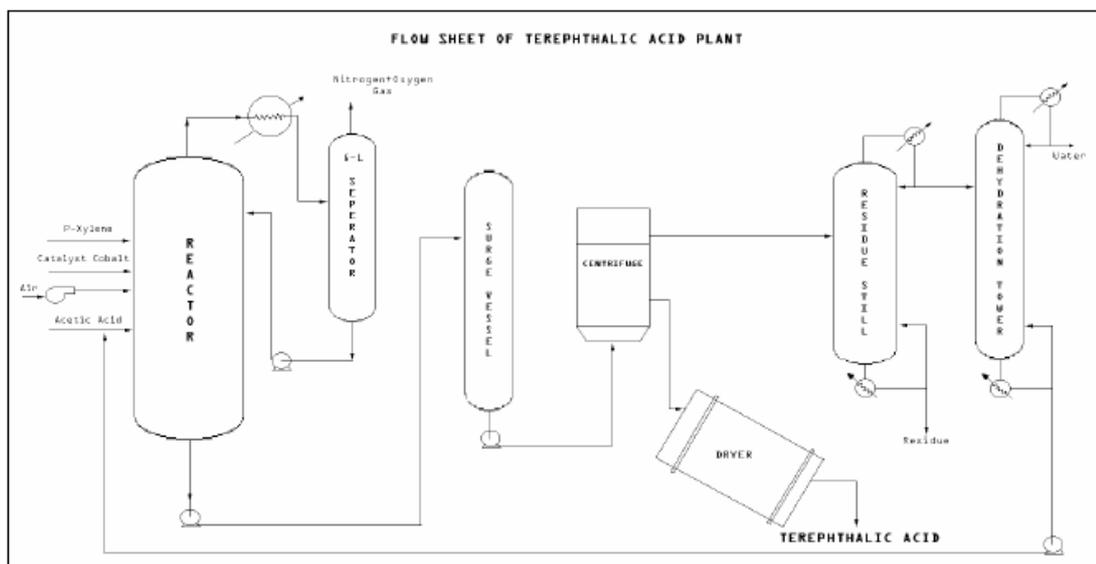


La oxidación es conducida usando ácido acético como solvente y un catalizador compuesto de cobalto y sales de magnesio, usando un promotor de bromido.

La tecnología del PTA ha sido liderada por BP (Amoco). Sin embargo, el proceso también ha sido desarrollado por DOW, Mitsubishi, Eastman y Mitsui.

## ii. Justificación

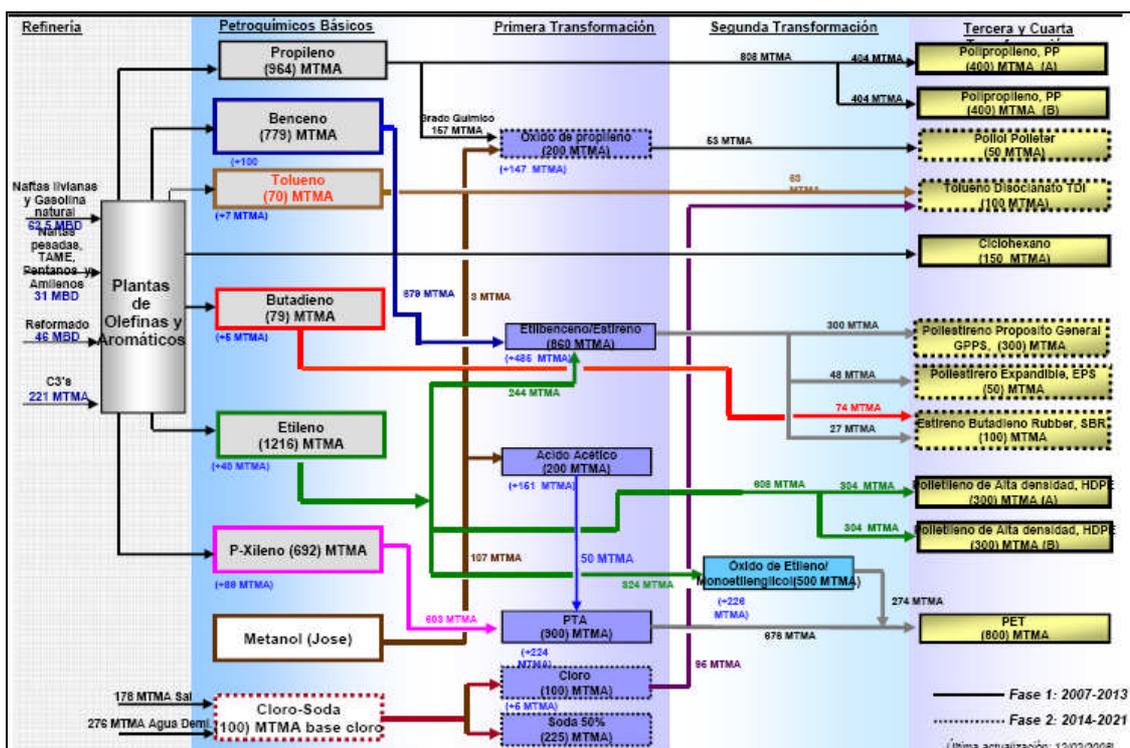
A continuación presentamos el diagrama de un proceso tradicional para la producción del PTA.



Fuente: [www.sbioinformatics.com](http://www.sbioinformatics.com)

Basándonos en el balance de masa del cuadro obtendremos las relaciones de masa, las cuales escalada a la planta de poliéster obtendremos la cantidad de nafta requerida para su producción.

Figura 5.3 : Esquema general de los procesos de transformación petroquímica



Fuente: Petroquímica de Venezuela S.A. - Pequiven

	Nafta (BD)	P-xileno (TM)	PTA (TM)
Datos	62500	603000	900000
Proyecto	10768,34388	103892,982	155064,152

Del cuadro se puede apreciar que se necesita aproximadamente diez mil barriles diarios de nafta. Por otro lado, la producción de nafta en el Perú se puede apreciar en el cuadro siguiente

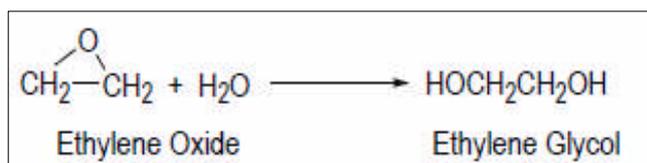
	2008	2009
MBD	2008	2009
Nafta Liviana	0,69	1,53
Nafta Virgen	5,05	3,52
Total	5,74	5,05

En conclusión se puede apreciar que el Perú es deficiente de nafta para la producción de PTA, por lo cual para desarrollar el proyecto de implementación de una planta de poliéster (PET) es indispensable que se importe el PTA.

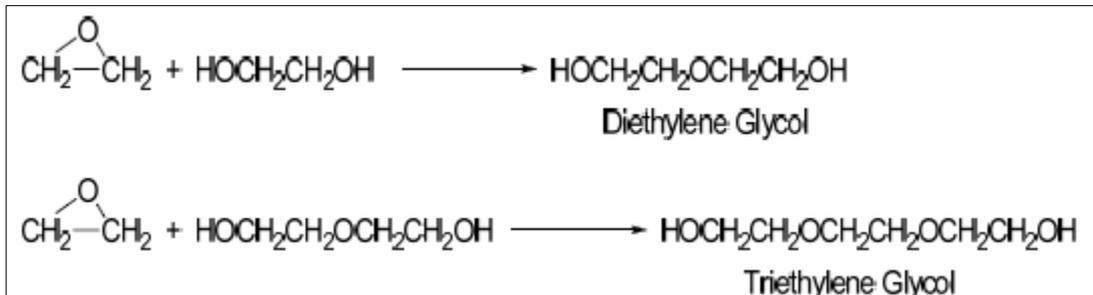
## d) Proceso del Monoetilenglicol (MEG)

### i. Introducción

El monoetilenglicol (MEG) es comercialmente producido por la hidrólisis de la fase líquida no catalítica del óxido de etileno (OE). El proceso es llevado a cabo con grandes volúmenes de agua en orden de minimizar la producción de glicoles superiores como subproductos.



Glicoles superiores son formados por la interacción del óxido de etileno con el etilenglicol. El óxido es más reactivo con glicol que con agua. Las reacciones son:



Esta reacción puede ser catalizada en medio ácido o base o puede ocurrir con un pH neutro bajo elevadas temperaturas. Altas conversiones de etilenglicol ocurren en medio ácido o pH neutro con un gran exceso de agua. Bajo estas condiciones se puede lograr un 90% de conversión de etilenglicol

### 1. Selección de Tecnologías

Se describirán en adelante los procesos comercialmente viables de los más grandes licenciantes de tecnologías de monoetilenglicol (MEG).

Estas compañías representan a los grandes suministradores de estas tecnologías y cubren todo el rango de las variaciones de los procesos, las cuales son:

- DOW ofrece su proceso METEOR EO/EG, proceso para la producción del óxido de etileno y etilenglicol
- SCIENTIFIC DESIGN COMPANY desarrollo su proceso óxido de etileno / etilenglicol
- SHELL GLOBAL SOLUTIONS posee dos procesos para la producción de óxido de etileno y etilenglicol, el Shell Master y el Shell Omega

#### DOW - METEOR EO/EG

El proceso de METEOR se inició con la premisa de que un diseño simple emitiría un ahorro de capital y costes, así como un proceso inherentemente más seguro y manejable más. El ejemplo más evidente de las simplificaciones de diseño del Proceso de METEOR es que utiliza un único reactor de óxido de etileno (OE). Considerando que las tecnologías implementadas en las instalaciones de nivel mundial todavía confían en reactores múltiples y sus equipos asociados de apoyo, el diseño de un único reactor fue comercializado por primera vez en 1994. En general la simplificación del proceso se ha traducido en una reducción del 20% en equipo pesado, el 50% de reducción en las válvulas de control, el 30% de reducción en las válvulas de seguridad, el 40% de reducción de elementos de flujo y una reducción del 40% en el tamaño de las parcelas. Además de proveer una ruta directa para reducir los costes, la simplicidad del proceso de METEOR también ofrece un diseño inherentemente seguro.

Un diseño de un único reactor no necesita ciclo de aislamiento de gas de reacción o de control de flujo, eliminando virtualmente los riesgos asociados a las interrupciones del ciclo de flujo de gas o variaciones. No hay aislamiento o la manipulación de OE concentrado. Menos

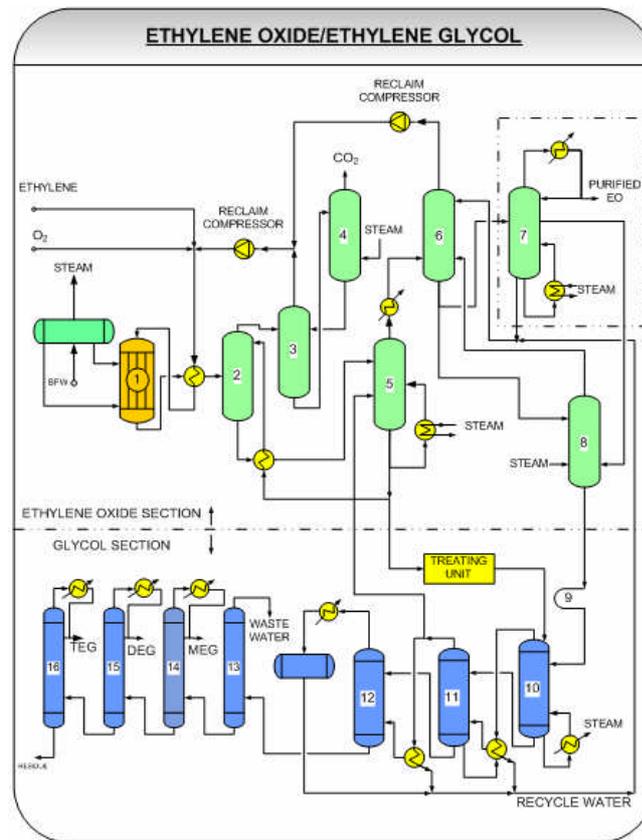
artículos de equipo pesado y grueso significan menos puntos de emisión fugitiva y episódica. No hay efluentes que requieran tratamiento de aguas residuales.

## SCIENTIFIC DESIGN COMPANY

Las plantas modernas de óxido de etileno / etilenglicol son unidades altamente integradas. La integración permite un ahorro de servicios importantes, así como la recuperación de todos los flujos como producto de alto grado, que de otro modo se habrían recuperado como un producto de menor grado.

El etileno, el oxígeno y el dióxido de carbono junto con argón y se alimentan a un reactor catalítico multi-tubular. La temperatura de reacción se controla mediante ajuste de la presión del vapor que se genera en el lado de la carcasa del reactor, y elimina el calor de reacción. El óxido de etileno producido se extrae del gas de reacción por lavado con agua en un Scrubber. El CO<sub>2</sub> como producto se extrae del gas de reacción antes de que se vuelva a comprimir y se vuelva al sistema de reacción donde se restauran de etileno y las concentraciones de oxígeno antes de volver al reactor.

El óxido de etileno es despojado de vapor en una solución de lavado y recuperado como una mezcla de agua más concentrada que es adecuado para su uso en un sistema de purificación del OE o a la alimentación a una planta de glicol. La solución de agua se enfría en un Stripper y se regresa al scrubber para su reutilización. El glicol de alimentación de la planta junto con el EO de la sección de purificación es enviados a un reactor de glicol y luego a un tren de evaporación de efectos múltiples para la eliminación de la mayor parte del agua de los glicoles. El glicol se seca y se pasa al tren de destilación glicol donde el MEG, DEG, TEG se recuperan.



Fuente: [www.scidesign.com](http://www.scidesign.com)

## SHELL – OMEGA

El proceso Omega en la sección de glicol es diseñado para hacer uso del  $\text{CO}_2$  producido durante la reacción de OE. El  $\text{CO}_2$  convierte el OE en carbonato de etileno, el cual es tratado luego con agua para producir MEG, eliminando la formación de subproductos.

El OE se produce por la oxidación directa del etileno, con el oxígeno de alta pureza sobre un catalizador de plata a temperaturas alrededor de  $230\text{-}270\text{ }^\circ\text{C}$  ( $440\text{-}518\text{ }^\circ\text{F}$ ). Una reacción secundaria compite con la reacción principal y da como producto el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua. Esta reacción se suprime con un moderador de cloruro de etilo. El  $\text{CO}_2$  se recupera y se retira del proceso.

A principios de 1960, cuando la tecnología convencional de hoy fue la primera que se comercializaba, la selectividad del EO era alrededor de

65%, con  $\text{CO}_2$  como principal subproducto. Con el más reciente catalizador, la selectividad del OE se está acercando al 90%.

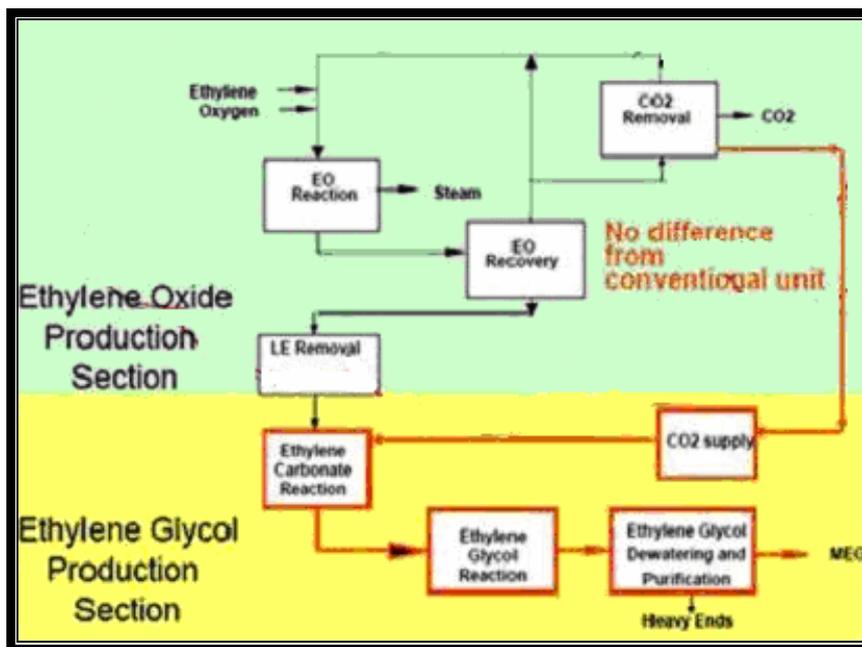
En el paso del OE al EG, el exceso de agua se utiliza para aumentar la selectividad hacia el MEG. En el proceso convencional, la mezcla de OE- Agua se calienta a unos 200 °C, y la reacción tiene lugar en la fase acuosa a baja presión. MEG se produce junto con el DEG, el TEG y otros glicoles.

La proporción de glicoles superiores puede ser controlada mediante el exceso de agua para minimizar la reacción entre el OE y los glicoles, y el agua. En el proceso convencional de Shell, una selectividad de MEG del 90% se consigue con una relación alta de  $\text{H}_2\text{O}:\text{OE}$  (wt/wt). La mezcla agua/glicol del reactor se alimenta a los evaporadores múltiples, donde el agua es recuperada y reciclada. La mezcla agua-glicol libre se separa por destilación en MEG y glicoles superiores. Esta operación consume mucha energía y requiere purificación, almacenamiento y equipos de manipulación para los subproductos.

En los pasados 10 años, los licenciantes principales del EG, entre los cuales se encuentra Shell, han llevado a cabo investigaciones usando resinas de intercambio iónico para aumentar la selectividad del MEG, acorde con Van den Berg, estas resinas pueden lograr una selectividad mayor de 95%, pero hay aun una necesidad de exceso de agua con una relación de Agua:OE (wt/wt) de 3 a 2

La aplicación de esta tecnología también se asegurará de que menos agua sea utilizada en el proceso y prácticamente no se creen subproductos. El proceso de OMEGA combina un catalizador CRI de alta selectividad para la conversión de etileno a óxido de etileno (OE), con un proceso catalítico para convertir OE a glicol.

Figura 5.4 : Esquema de los procesos del licenciante Shell



Fuente: [www.hydrocarbons-technology.com/projects/shellpetrochemicals](http://www.hydrocarbons-technology.com/projects/shellpetrochemicals)

Luego de analizar cada proceso, se decidió usar la tecnología del proceso para la producción de monoetilenglicol del licenciante SHELL, a continuación se señalaran las ventajas más sobresalientes.

- El proceso convierte el 99.2 % del óxido de etileno en el proceso de producción del MEG frente al 90% de los procesos convencionales. Esto elimina el costo de almacenamiento y envío de cualquier producto secundario
- El proceso consume menos vapor y produce menos agua residual que una planta convencional
- EL proceso OMEGA produce menos CO<sub>2</sub> por tonelada de MEG

## ii . Descripción del Proceso

Luego de realizar un estudio de tecnologías se ha concluido que el proceso a utilizar es SHELL OMEGA PROCESS debido a que nos otorga un mayor rendimiento y una producción casi nula de intermedios.

En el proceso de producción del monoetilenglicol (MEG), el óxido de etileno (EO) en una solución acuosa es reaccionado con dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  en la presencia de un catalizador homogéneo para formar carbonato de etileno (1). Luego el carbonato de etileno es reaccionado con agua para formar MEG y  $\text{CO}_2$  (3)

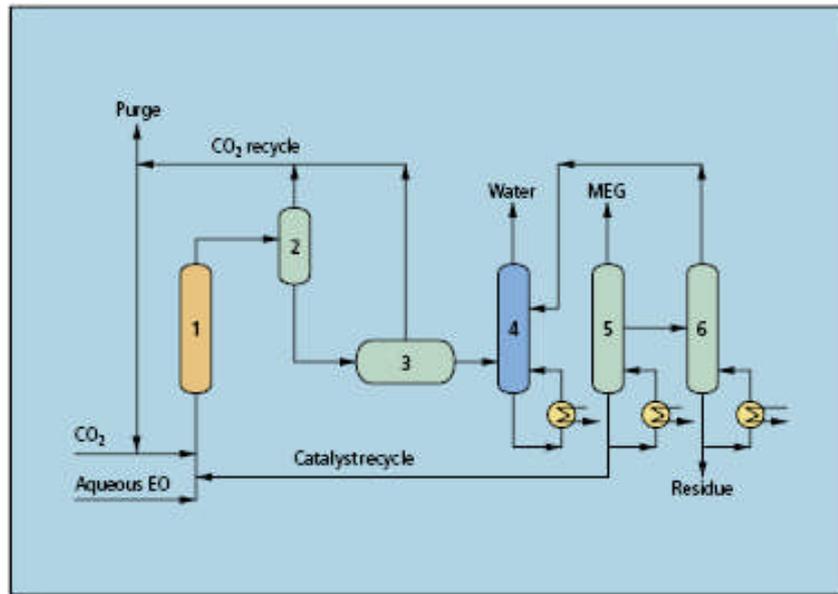
El consumo neto de  $\text{CO}_2$  en el proceso es nulo debido a que todo el  $\text{CO}_2$  es convertido a carbonato de etileno y liberado de nuevo en la reacción de hidrólisis del carbonato de etileno. El  $\text{CO}_2$  no reaccionado de la reacción del carbonato de etileno es recuperado (2) y reciclado, junto con el  $\text{CO}_2$  liberado en la reacción de hidrólisis del carbonato de etileno.

El producto de la reacción de hidrólisis es destilado para remover el agua residual (4). En las columnas siguientes de destilación el MEG de alta pureza es recuperado (5) y pequeñas cantidades del dietilenglicol (DEG) coproducido son removidos (6).

El catalizador homogéneo usado en el proceso se concentra en la parte inferior de la columna 5 y es reciclado de nuevo a la sección de reacción.

El proceso tiene un rendimiento del MEG de más del 99%. Comparado con otros procesos el consumo de vapor y la producción de agua residuales son relativamente bajas.

Figura 5.5 Esquema del proceso Omega – Shell



Fuente: Hydrocarbons Processing – Petrochemical Process 2005

A continuación se realizó el balance general de masa para el proceso anteriormente descrito

Tabla 5.7

SHELL OMEGA			
<b>ALIMENTACION</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%MASA</b>	<b>TM/año</b>
Oxido de Etileno	3755.67	0.400	30045.35
H2O	5633.50	0.600	45068.02
<b>TOTAL</b>	<b>9389.17</b>	<b>1.000</b>	<b>75113.37</b>
<b>PRODUCTOS</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%MASA</b>	<b>TM/año</b>
<b>EG</b>	<b>8450.25</b>	<b>0.900</b>	<b>67602.03</b>
H2O	422.51	0.045	3380.10
CO2	328.62	0.035	2628.97
Oxido de Etileno	187.78	0.020	1502.27
<b>TOTAL</b>	<b>9389.17</b>	<b>1.000</b>	<b>75113.37</b>
Conversión		95%	

## d) Producción del polietilentereftalato (PET)

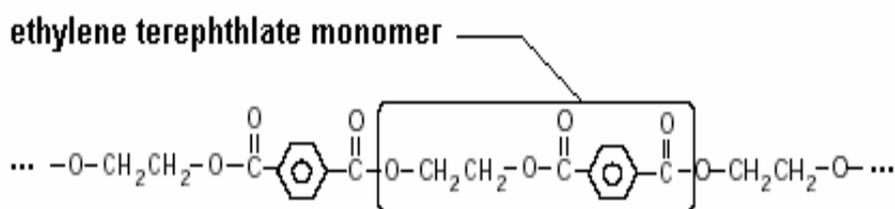
### i. Introducción

El polietilentereftalato o polietileno Tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, Polyethylene Terephthalate) es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles. Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas y láminas.

El rango de viscosidad intrínseca para las distintas especificaciones técnicas del PET es:

<p>Fiber grade            0.40 – 0.70 dℓ/g Textile            0.72 – 0.98 dℓ/g Technical, tire cord</p>
<p>Bottle grade            0.70 – 0.78 dℓ/g Water bottles (flat)            0.78 – 0.85 dℓ/g Carbonated soft drink grade</p>

El PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol.



## 1. Selección de Tecnologías

A continuación se describirá las tecnologías más conocidas para la producción del polietilentereftalato.

El licenciante Uhde Inventa Fischer es uno de los líderes mundiales en tecnologías y equipos para la producción de poliéster grado textil y grado botella. Uhde ha construido más de cincuenta plantas en todo el mundo con una capacidad de procesamiento que están en el rango de 3000 a 21000 toneladas métricas por año.

Uhde Inventa Fisher optimiza las condiciones del proceso PET, en el cual reduce el uso de reactores generalmente de siete hasta tres reactores elevando la calidad y estabilidad del proceso

Otro de los licenciantes líderes en el mundo de la industria del poliéster es Zimmer AG que ha construido plantas de policondensación continua desde 1962 y continúa haciéndolo, la aplicación de su tecnología es propiedad exclusiva de Zimmer. La capacidad total construida es de casi nueve millones de toneladas anuales. El éxito de su tecnología es el continuo mejoramiento de su proceso optimizándolo al máximo y evitando la producción de intermedios.

Luego de realizar el estudio de las tecnologías se ha concluido que el proceso a utilizar es Zimmer AG debido a que otorga ventajas, como utilizar esta tecnología para grandes capacidades de planta a un costo económicamente rentable. En los últimos diez años, Zimmer ha tenido una participación del 40% de la capacidad total instalada en todo el mundo.

### **Ventajas de la tecnología**

- Los reactores de proceso están distribuidos en serie optimizando el tiempo de residencia, incrementando la capacidad de la planta en 1500 TM/día.
- Se logra la optimización con procesos en cascada para lograr la mayor eficiencia en la conversión de las materias primas en productos deseados.
- Reduce la formación de acetaldehído, dietilenglicol y productos intermedios indeseables como los oligómeros.
- Excelente viabilidad de la planta y económicamente rentable.

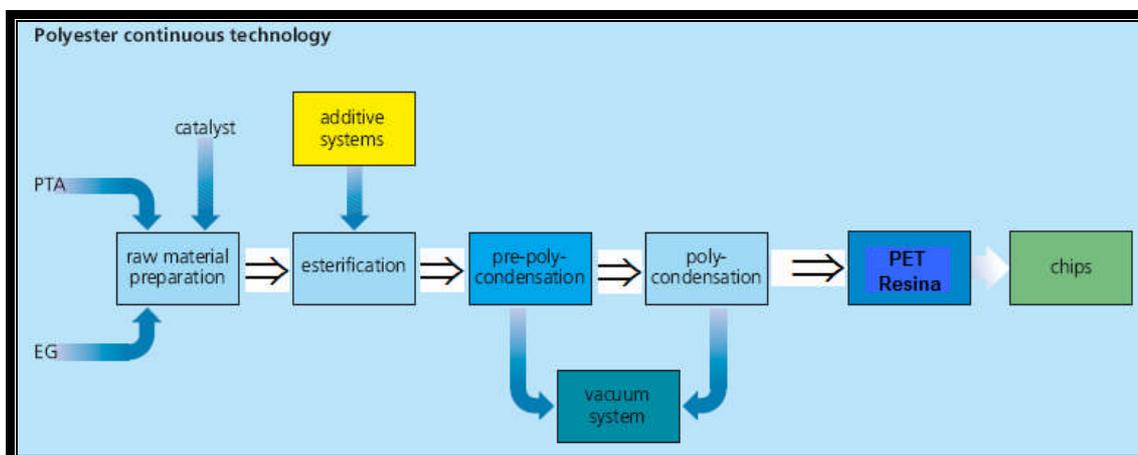
### ii. Descripción del proceso

El proceso consiste básicamente en tres zonas bien diferenciadas. La primera es la etapa de esterificación donde la carga es previamente acondicionada en un mezclador en una relación PTA:EG (wt/wt) de 2.6 a 1 y luego se alimenta al reactor de esterificación en el que se produce la reacción principal a presiones entre (100–200 psi ) y temperaturas (260-270 °C).

En la esterificación se da lugar la producción de agua el cual será enviado a una columna para separarlo del oligómero que es nuestro principal producto. El producto de la esterificación es enviado a la segunda etapa llamada prepolicondensación donde es alimentado a un segundo reactor el cual opera a presiones muy bajas cercanas al vacío (18-20 mmHg ) y una temperatura de 270 °C. La generación del sistema al vacío es operada con etilenglicol del proceso.

El producto de prepolicondensación es finalmente descargado al reactor de policondensación y lleva acabo a condiciones de presión de vacío aproximadamente entre 3 y 4 mmHg y 300 °C de temperatura. La policondensación final tendrá viscosidades intrínsecas hasta de

IV = 0,96. El poliéster fundido (resina) obtenido será procesado para la producción de chips, fibras o filamentos.



Fuente: Zimmer AG – Polyester continuous technology

Se presentara a continuación la Tabla 5.8, en el cual se observa el balance de masa general para el proceso de producción del PET

Tabla 5.8

ZIMMER AG			
<b>ALIMENTACION</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%MASA</b>	<b>TM/año</b>
PTA	18825.36	0.690	150602.91
EG	<b>8450.25</b>	0.310	67602.03
ADITIVO	27.303	0.001	218.42
<b>TOTAL</b>	<b>27302.92</b>	<b>1.000</b>	<b>218423.36</b>
<b>PRODUCTOS</b>	<b>Kg/h</b>	<b>%MASA</b>	<b>TM/año</b>
PET	<b>21541.44</b>	0.789	<b>172331.52</b>
EG	1555.77	0.057	12446.17
H2O	4205.71	0.154	33645.68
<b>TOTAL</b>	<b>27302.92</b>	<b>1.000</b>	<b>218423.36</b>
Conversión		94%	

En resumen, luego del análisis de los diferentes tipos de procesos usados para la producción del polietilentereftalo (PET) se mostrara la tabla en la cual se identifica el licenciante usado para cada proceso asi como su rendimiento.

Tabla 5.9

<b>Procesos de Producción de</b>	<b>Licenciantes</b>	<b>Conversión</b>
Etileno	ABB-Lumus	80%
Oxido de Etileno (OE)	Dow Chemical	95%
Monoetilenglicol (MEG)	Shell - Omega	95%
Polietilentereftalato (PET)	Zimmer AG	94 %

## CAPITULO VI : ESTUDIO LEGAL

El Perú tiene una política y legislación profusa en el ámbito de reglamentaciones en el sector Hidrocarburo así como también en el aspecto ambiental y el sentido humano. Por lo que primero debemos tener en cuenta que dentro de cualquier actividad en la que se quiera participar, existen ciertas normas que se deben seguir para poder operar, las que son obligatorias y equitativas.

Entre las principales se encuentran, las siguientes:

### Normas a Nivel Nacional

La principal carta magna es nuestra carta magna llamada Constitución Política del Perú 1993.

El Artículo 43º de la Constitución Política del Perú, establece como un deber primordial del Estado Peruano: "(...) Promover el bienestar general que se fundamenta en la justicia y en el desarrollo integral y equilibrado de la Nación (...)".

Ministerio de Energía y Minas – M.E.M.:

Ley N° 29163 (18 de diciembre del 2007). Ley de promoción para el desarrollo de la industria Petroquímica:

La presente Ley contiene las normas para el desarrollo de las actividades de la Industria Petroquímica, a partir de los componentes del Gas Natural y Condensados y de otros hidrocarburos, propiciando la creación de Complejos Petroquímicos de desarrollo descentralizados y la construcción de gasoductos, bajo criterios de responsabilidad socio-ambiental y de competitividad, con avanzada tecnología, en el marco de un desarrollo integral y equilibrado del país. Dentro de los artículos que comprende esta ley podemos mencionar los siguientes:

## Artículo 2°

Esta ley contiene muchos artículos que definen algunos términos que se usaran en la industria petroquímica tales como por ejemplo:

- Complejo petroquímico
- Industria petroquímica
- Petroquímica básica
- Petroquímica intermedia
- Petroquímica final

## Artículo 3°

### Precio y Tarifas de Transporte y Distribución del Gas Natural y Condensados

Los precios del Gas Natural y Condensados en el punto de fiscalización de la producción que se destinen como insumos para la Industria Petroquímica, serán el resultado de las negociaciones entre el Productor Industrial y el Contratista. Como resultado de dichas negociaciones, los precios pactados podrán ser distintos a los que rigen para otros usuarios.

Las tarifas para el transporte y la distribución del Gas Natural y Condensados a ser utilizadas por la Industria Petroquímica, serán negociadas entre las partes de acuerdo a lo previsto en las normas de transporte de hidrocarburos por ductos y de distribución de Gas Natural por red de ductos.

## Artículo 5° y Artículo 6°

Funciones del Ministerio de Energía y Minas, del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – OSINERGMIN y Funciones del Ministerio de la Producción.

## Artículo 8º

### Incentivos y beneficios básicos aplicables a la Industria Petroquímica

A la Industria Petroquímica comprendida en la presente Ley, le es aplicable los beneficios a que se refiere la Ley N° 28176, Ley de Promoción de la Inversión en Plantas de Procesamiento de Gas Natural, su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N° 031-2004-EM y demás disposiciones conexas.

La negociación, aprobación y suscripción de Convenios para la instalación y operación de plantas para el desarrollo de la Industria Petroquímica se regirán por lo establecido en el Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión en Plantas de Procesamiento de Gas Natural, aprobado mediante Decreto Supremo N° 031-2004-EM, en lo que resulte aplicable, de acuerdo a la competencia que le corresponde a cada entidad, según lo señalado en la presente Ley.

A la Industria Petroquímica comprendida en la presente Ley, le es aplicable lo dispuesto en el D.S. N° 037-2006-EM y sus normas modificatorias o sustitutorias, referido a actividades de cogeneración.

Asimismo, le son aplicables las disposiciones siguientes:

- La garantía de estabilidad tributaria, la cual alcanza a los socios o accionistas, nacionales o extranjeros, por la rentas por dividendos.
- Régimen de Importación Temporal por un periodo de 2 años (suspensión de tributos a la importación), con dos prórrogas de una año cada una
- Libre disponibilidad de los productos de la planta, exportación libre de todo tributo
- Estabilidad cambiaria, garantiza la disponibilidad de divisas a través del Banco Central de Reserva

## a) JUSTIFICACIÓN

Se realizó el presente estudio para establecer los deberes que cualquier persona natural o jurídica para instalar, operar y mantener plantas de procesamiento.

Es de suma importancia conocer los reglamentos de seguridad y los reglamentos medioambientales que estará sujeto el presente proyecto para llevar a cabo la operación de la planta.

Asimismo, se realizó este estudio para conocer las ventajas legales y tributarias que nos ofrecerá el país para el inversor implemente una planta de poliéster en el Perú.

## CAPITULO VI I : ESTUDIO AMBIENTAL

### a) Introducción

Las bases para el estudio ambiental de un proyecto petroquímico en el Perú están reglamentadas en el “Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos”. El organismo competente ante el cual debemos presentar nuestro estudio de impacto ambiental es el Ministerio de Energía y Minas a través de la Dirección General de Asuntos Ambientales Energéticos. El cual da las siguientes definiciones de interés:

Impacto ambiental: es el efecto de las acciones del hombre o de la naturaleza causan en el ambiente natural o social. Pueden ser positivos o negativos.

Declaración de Impacto Ambiental (DIA): documento que tiene el carácter de declaración jurada donde se expresa que el proyecto de inversión cumple con la legislación ambiental y que es susceptible de generar impactos ambientales negativos poco significativos de acuerdo con la normativa ambiental vigente.

Estudio de Impacto Ambiental (EIA): documento de evaluación ambiental de los proyectos de inversión cuya ejecución puede generar impactos ambientales significativos en términos cuantitativos y/o cualitativos. Dicho documento debe ser a nivel de factibilidad del proyecto.

Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-SD): documento de evaluación ambiental de los proyectos de inversión cuya ejecución puede generar impactos ambientales susceptibles de ser eliminados o minimizados mediante la adopción de acciones técnicas fácilmente aplicables.

## b) Aspecto Normativo

La Ley General del Ambiente (Ley N° 28611) es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Dicha norma establece los principios y elementos básicos para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Algunas de las principales normas legales que se utilizan como referencia durante la elaboración del EIA se indican a continuación:

### Normatividad General

- Política Nacional del Ambiente (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM).
- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611).
- Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales (Ley N° 26821).
- Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (Ley N° 28245) y su Reglamento (Decreto Supremo N° 005-2005-PCM).
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (Ley N° 27446) y su Reglamento (Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM).
- Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (Ley N° 29325).
- Ley de evaluación de impacto ambiental para obras y actividades: Ley N° 26786 (13.mayo.1997)
- Ley sobre la conservación y aprovechamiento sostenible de la diversidad biológica: Ley N° 26839.
- Ley de áreas naturales protegidas: Ley N° 26834.
- Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas: D.S. N° 019-99-AG.
- Ley general de comunidades campesinas: Ley N° 24656

El estudio de impacto ambiental abarca los siguientes factores ambientales (puntos susceptibles al proyecto):

- La salud de las personas.
- La calidad del suelo, el aire y el agua.
- La flora y la fauna, tanto terrestre como acuática.
- Las Áreas Naturales Protegidas.
- Los ecosistemas y las bellezas escénicas.
- Los aspectos socioculturales de las poblaciones en el área de influencia de la actividad.
- Los espacios urbanos.
- El patrimonio arqueológico, los lugares sagrados para los pueblos Indígenas, y el patrimonio histórico y arquitectónico, incluyendo los monumentos nacionales.
- Los demás que sean establecidos en, o surjan de la política nacional

El EIA incluirá lo siguiente:

1. Un Resumen Ejecutivo.

En caso de ser necesario además se debe elaborar un documento en el idioma o dialecto de mayor relevancia en la zona donde se llevará a cabo o se proyecte llevar a cabo la Actividad de Hidrocarburos, de manera tal que en un lenguaje simple, reproduzca en lo posible el contenido del Resumen Ejecutivo.

2. La delimitación del área de influencia directa e indirecta del proyecto.

3. Descripción del proyecto: localización, etapas, dimensiones, costos estimados, cronograma de ejecución, procesos, identificación y estimación básica de insumos, productos, residuos, emisiones, vertimientos y riesgos inherentes a la Tecnología a utilizar, sus fuentes y sistemas de control.

4. Un estudio de Línea Base para determinar la situación ambiental y el nivel de Contaminación del área en la que se llevaran a cabo las Actividades de Hidrocarburos, incluyendo la descripción de los recursos naturales existentes, aspectos geográficos, así como aspectos sociales, económicos y culturales de las poblaciones en el área de influencia del proyecto. La Línea Base deberá contener los transeptos o zonas evaluadas, indicando orientación geográfica y/o coordenadas UTM; asimismo deberá consignar el área total evaluada de la línea base ambiental.

5. La identificación y evaluación de los Impactos Ambientales que pueda ocasionar el proyecto, indicando cuales pueden prevenirse, mitigarse, corregirse o compensarse.

6. Plan de Manejo Ambiental del proyecto que deberá contener lo siguiente:

- a) Descripción y evaluación técnica de los efectos previsibles directos e indirectos, acumulativos y sinérgicos en el Ambiente, a corto y largo plazo, para cada una de las Actividades de Hidrocarburos que se plantea desarrollar en el área del proyecto.
- b) El programa de monitoreo del proyecto, obra o actividad con el fin de verificar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental establecidos en las normas vigentes. Así mismo, evaluar mediante indicadores de desempeño ambiental previsto del proyecto, obra o actividad, la eficiencia y la eficacia de las medidas de manejo ambiental adoptadas y la pertinencia de medidas correctivas necesarias y aplicables en cada caso en particular.
- c) El Plan de Contingencia, el cual contendrá las medidas de prevención y atención de las emergencias que puedan presentarse durante la vida del proyecto.
- d) Plan de Relaciones Comunitarias.

- e) Los costos proyectados del Plan de Manejo en relación con el costo total del proyecto, obra o actividad y cronograma de ejecución.
- f) El Titular deberá presentar estudios de valorización económica de los Impactos Ambientales a ocasionarse.
- g) Las medidas de prevención, mitigación, corrección y compensación de los Impactos Ambientales negativos que pueda ocasionar el proyecto al Ambiente durante las fases de construcción, operación, mantenimiento, desmantelamiento, abandono y/o terminación del proyecto o actividad.
- h) Plan de Abandono.
- i) Adicionalmente la norma estipula lo siguiente para la instalación de una planta de procesos:

- i) Todas las áreas de proceso, excepto el área de tanques y los corredores de tuberías, deberán estar sobre una losa de concreto y contar con un sistema para colectar fugas, drenajes de bombas, drenajes de puntos de muestreo, drenajes de tanques y otros.

- ii) Las instalaciones de procesamiento o refinación con terminales marítimos deberán contar con sistemas de recepción y sistemas de tratamiento de agua de lastre, de conformidad con lo estipulado en el convenio MARPOL.

### c) Situación Actual de la Zona

La Bahía de Paracas, aproximadamente al noreste de la Provincia de Ica, Región Ica, a aproximadamente 510 km al sur de Lima. El área se caracteriza por sus condiciones desérticas.

## **FLORA.**

Esta compuesta por cuatro tipos de cobertura vegetal. El tipo de vegetación predominante es el Tillandsial, seguido por el tipo Lomas, el Roquedal y la Vegetación Desértica; sin embargo la mayor parte del área es desierto sin vegetación.

Se ha identificado la existencia de 19 especies de vegetación, distribuidas en nueve familias y 15 géneros. Se caracterizan por la presencia predominante de nueve especies de sub-arbustos pequeños (47,4%), cinco de hierbas perennes (26,3%), cuatro cactus (21,1%) y un árbol (5,3%).

Algunas de estas especies son nuevas para la Región Ica. *Corryocactus brachypetalus* y *Haageocereus decumbens* pertenecen a la familia Cactaceae, y han sido reportadas previamente sólo en la región Arequipa; y *Nolana gayana* pertenece a la familia Solanaceae, y ha sido registrada anteriormente en la región centro-norte del Perú.

## **FAUNA.**

La variedad de condiciones naturales presentes hacen posible la existencia de una gran diversidad de especies animales, aproximadamente existen 5 especies de mamíferos, 21 especies de aves, 3 especies de reptiles y 22 especies de peces registrados a la fecha. La reserva sustenta una abundante fauna ornitológica tanto residente como migratoria.

Entre las cinco especies de mamíferos tenemos el Ratón Orejón, *Phyllotis limatus*; la Rata Negra común, *Rattus rattus*; el Ratón Doméstico, *Mus musculus*; el Guanaco, *Lama guanicoe* y el Zorro Andino, *Lyclopex culpaeusel* .

La familia más abundante de aves fue la de las gaviotas, Laridae, con seis especies. También se registraron tres especies de reptiles pertenecientes a dos familias: el Geco, *Phyllodactylus gerrophygus*

(familia Gekkonidae); la Lagartija de Playa, *Microlophus peruvianus*, y la Lagartija de los Arenales, *Microlophus theresiae*, (familia Tropicuridae).

### CLIMA.

La temperatura en esta zona es más o menos uniforme en todo el año. El promedio de las condiciones climatológicas mensuales se muestran en el siguiente cuadro:

TEMPERATURA	MAXIMA(°C)	PROMEDIO (°C)	MINIMA (°C)
Máxima	23	20	17
Media	18	17	15
Mínima	17	14	11
Punto de rocío	17	14	11
Precipitación	0cm	0cm	0cm
Viento	24 Km/h	6 Km/h	0 Km/h
Presión al nivel del mar	102.0 KPa	101.5 KPa	100.9 KPa

Fuente: [www.wundergrond.com](http://www.wundergrond.com) Año 2008

#### d) Impacto Ambiental del Proyecto de Obtención de Poliéster

En el desarrollo del proyecto se puede alterar negativamente distintos factores ambientales los cuales se indican en el siguiente cuadro:

Impactos Negativos Potenciales	Medidas de Atenuación
<b>Directos: Selección de Sitio</b>	
1. Ubicación de la planta en o cerca de los hábitats sensibles	Ubicar la planta en una área industrial, de ser posible, a fin de reducir o concentrar la carga sobre los servicios ambientales locales y facilitar el monitoreo de los efluentes. Integrar la participación de las agencias de los recursos naturales en el proceso de la selección del sitio, a fin de estudiar las alternativas.
2. Ubicación cerca de los ríos que causa su eventual degradación	El proceso de la selección del sitio debe examinar las alternativas que reducen los efectos ambientales y no excluyan el uso beneficioso de la extensión de agua. Las plantas que reduzcan descargas líquidas, no deben ubicarse en ningún río que no tenga la capacidad adecuada para absorber los desechos.

3. La ubicación puede causar serios problemas de contaminación atmosférica en el área local.	Se debe ubicar la planta en un área que no esté sujeta a inversiones ni atrapamiento de contaminantes, y donde los vientos predominantes se dirijan hacia las áreas relativamente despobladas.
4. La ubicación puede agravar los problemas que se relacionan con los desechos sólidos en el área.	La selección del sitio debe evaluar la ubicación según los siguientes lineamientos: el lote debe tener un tamaño suficiente que permita eliminar los desechos en el sitio; la planta debe estar cerca de un depósito de desechos; debe tener una ubicación conveniente con la finalidad de que los contratistas públicas/privadas puedan recolectar y transportar los desechos sólidos al sitio donde serán eliminados definitivamente;
<b>Directos: Operación de la Planta</b>	
5. Potenciales problemas por almacenamiento de Etano (incendio y asfixia) T(ignición)=472°C Limite de inflamabilidad (% de combustible en aire) 3.0%-----12.5% El etileno también forma mezclas explosivas con el aire T(ignición)=425°C Limite de inflamabilidad 2.7%-----34% y en altas concentraciones (20%) causan efectos anestésicos mareos y vómitos	El etano es 1.2 veces más pesado que el aire y a temperatura ambiente, el etano es un gas inflamable, por lo cual para almacenarlo, hay que mantener en lugar frío.  Toda la planta: no debe poseer zonas bajas como sótanos. En caso de incendio usar: CO2, polvo químico y agua pulverizada sobre la zona de incendio En lo posible usar detectores de gases
6. La emisión de partículas a la atmósfera provenientes de todas las operaciones de la planta.	Controlar las partículas con lavadores, filtros recolectores de tela, o precipitadores electrostáticos.
7. Las emisiones gaseosas de SO, NO, y CO y otros químicos a la atmósfera, provenientes de los procesos.	Controlar mediante el lavado con agua o soluciones alcalinas, incineración o absorción con otros procesos catalíticos.
8. Liberación casual de solventes y materiales ácidos y alcalinos, que son potencialmente peligrosos;	Mantener las áreas de almacenamiento y eliminación de desechos en buen estado, de modo que se prevengan las fugas casuales Utilizar equipo para mitigar derrames Utilizar diques o tanques de doble pared
10. Ruido;	Utilizar encerramientos y aislamiento, dentro de los edificios, para los procesos o equipos que producen ruido, o utilizar otros procedimientos para reducir su impacto.

<p>11. El escurrimiento superficial de los químicos, materias primas, productos intermedios y finales, y desechos sólidos que, a menudo se guardan en pilas en el patio de la planta, puede contaminar las aguas superficiales o filtrarse hacia las aguas freáticas.</p>	<p>Se puede controlar la filtración y escurrimiento del agua lluvia de las pilas de materiales sólidos, combustibles y desechos, usando cubiertas y/o contención para evitar que se contaminen las aguas freáticas y superficiales.</p> <p>Las áreas represadas deben tener el tamaño suficiente, que les permita contener una lluvia normal de 24 horas.</p> <p>Recolectar y monitorear el agua lluvia antes de descargarla</p>
<p><b>Indirectos</b></p>	
<p>12. Los efectos para la salud de los trabajadores, debido al polvo fugitivo, manejo de materiales, ruido, u otras operaciones del proceso.</p> <p>- La frecuencia de accidentes es mayor que lo normal, debido al bajo nivel de experiencia de los trabajadores.</p>	<p>La planta debe implementar un Programa de Seguridad y Salud que incluya lo siguiente:</p> <p>Identificar, evaluar monitorear y controlar los peligros para la salud.</p> <p>dar capacitación de seguridad</p>
<p>13. Se alteran los modelos de tránsito, creando ruido y congestión, ocasionando serios peligros para los peatones, debido al uso de camiones pesados para transportar la materia prima hacia la planta o fuera de ella.</p>	<p>La selección del sitio puede atenuar de estos problemas</p> <p>Se debe hacer un análisis del transporte durante el estudio de factibilidad del proyecto, para seleccionar las mejores rutas y reducir los impactos.</p> <p>Establecer reglamentos para los transportistas y diseñar planes contingentes de emergencia para reducir el riesgo de accidentes</p>

#### e) Plan de Manejo Ambiental (PMA) del Proyecto de Obtención de Poliéster

El PMA consta de una serie de planes individuales que enmarcan el alcance de la gestión ambiental referente al cumplimiento de los requerimientos normativos aplicables. Se implementara en las etapas de construcción, operación y abandono. Los planes que se incluirán y los monitoreos propuestos que se implementaran se desarrollan en el cuadro siguiente:

Variable Ambiental	Objetivo	Parámetros	Metodología	Etapa	Frecuencia y Duración	Informe
Meteorología	Evaluar las condiciones meteorológicas del área de estudio	Se monitorearán los parámetros siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Presión Atmosférica</li> <li>• Humedad Relativa</li> <li>• Radiación Solar</li> <li>• Precipitación</li> <li>• Velocidad del Viento</li> <li>• Dirección del Viento</li> </ul>	Descargar datos cada quincena	Construcción	Lectura Continua	Trimestral
				Operación	Lectura Continua	Semestral
				Abandono	Lectura Continua	Semestral
Calidad de Aire	Monitorear los efectos potenciales de calidad de aire en los receptores sensibles	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> N) PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> N)	Descarga de datos diario	Construcción	Lectura diaria Operar muestreadores constantemente durante la construcción	Trimestral
				Operación	Lectura diaria	Mensual para el primer año y luego trimestral
				Abandono	No se considerado monitoreo durante esta etapa ya que no estarán operando	
Ruido	Monitorear los efectos potenciales de niveles de ruido en los receptores sensibles	NPSeq[dB(A)] NPMin[dB(A)] NPMax[dB(A)]	Recopilar lecturas de dBA de 24 horas con Leq max y min y L90	Construcción	Lectura quincenal o cuando se reciban quejas	Trimestral
				Operación	Lectura mensual o cuando se reciban quejas	Solo si hay quejas
				Abandono	No se considerado monitoreo durante esta etapa ya que no estarán operando	
Calidad de Agua de Mar	Evaluar la calidad del agua de mar de la descarga de efluentes de aguas	pH, demanda bioquímica y química de oxígeno, temperatura, fósforo total, amoníaco, nitrato, nitrito, nitrógeno total, aceites y grasas,	Según los estándares nacionales (D.S. N° 002-2008-	Construcción	Mensual para los tres primeros meses variando a trimestral por el resto de la construcción	Trimestral

	servidas tratadas	sólidos suspendidos totales, conformes totales y conformes fecales	MINAM)	Operación	Mensual para los tres primeros meses luego se disminuirá gradualmente el muestreo hasta serlo anual	Primer año trimestral, segundo año semestral y en adelante anual
				Abandono	Monitoreo semestral por dos años y puede terminar antes si los datos de campo concuerdan con la calidad de agua de la referencia	Semestral
Fauna Terrestre	Estudio de pre-construcción para madrigueras y evaluación de los efectos del proyecto en las aves acuáticas y terrestres	Madrigueras, Cambios en la distribución y abundancia de las aves acuáticas y terrestres	Estudio visual para madrigueras, conteo de bandadas para identificar la presencia de especies y abundancia relativa	Construcción	Una vez durante la época de nidificación en la pre-construcción	Único
				Operación	Los primeros dos años durante la operación. Si no se observan cambios cancelar	Semestral
				Abandono	Semestralmente durante la etapa de abandono	Único
Arqueología	Proporcionar conservación adecuada de los restos arqueológicos existentes en el área donde se desarrollara el proyecto	Aplicación de medidas de protección	Cumplir con los requisitos del INC	Construcción	Continua durante cualquier actividad de trabajo en terreno en los sitios arqueológicos potenciales	Semanalmente durante las actividades de trabajo en terreno
				Operación	No se ha considerado debido que los trabajos que podrían afectar ya han culminado	
				Abandono	No se requiere	

## CAPITULO VIII: ESTUDIO ECONÓMICO

La evaluación económica se hizo en base al análisis económico y a los datos que se obtuvieron de los estudios que se realizó en el siguiente trabajo

El análisis económico estudia la estructura y evolución de los resultados de la empresa (ingresos y gastos) y de la rentabilidad de los capitales utilizados.

La evaluación económica se hizo a partir de hojas de Excel. La evaluación se realizó siguiendo los siguientes pasos:

### a) Evaluación de la Inversión

Se realizó la estimación de la inversión total del proyecto de la planta de poliéster, a partir del balance general del proyecto siguiendo los rendimientos de cada proceso del mismo, el cual consta de cuatro pasos, los cuales son:

- Producción de Etileno
- Producción de Oxido de Etileno
- Producción de Monoetilenglicol
- Producción del PET

ETANO	32,493.78	TM/AÑO
ETILENO	25,037.79	TM/AÑO
EO	30,045.35	TM/AÑO
MEG	67,602.03	TM/AÑO
PTA	150,602.91	TM/AÑO
PET (RESINA)	172,331.52	TM/AÑO

Cuadro Nº 8.1 Balance General de la Alimentación, Productos Intermedios y Producto Final

A partir del balance de masa, se determina la capacidad total necesaria de cada paso del proyecto. Se obtuvo de los licenciantes de cada paso del proyecto la inversión total, de lo cual se realizó el escalamiento para

determinar la inversión que se requeriría en cada paso del proceso y se calculo la inversión actual según el costo índice para el año 2011.

Se uso la siguiente formula de escalamiento, tomando como índice F el valor de 0.75 (planta petroquímica).

Factor de Escalamiento

$$I_B = I_A \left( \frac{C_B}{C_A} \right)^F$$

Donde:

$I_B$  e  $I_A$  : Inversión de la planta B y A

$C_B$  y  $C_A$  : Capacidad de la planta B y A

F : Factor de escalamiento

A continuación se detalla la inversión total resultante para el proyecto de producción de poliéster

	Datos	Proyecto			
Etileno			CI 2005	CI 2011	
Inversión MUS\$	385	26,226			49,034
Capacidad TM/AÑO	900000	25037,79	468,2	875,4	
Oxido de Etileno			CI 1990	CI 2011	
Inversión MUS\$	50	34,125			83,538
Capacidad TM/AÑO	50000	30045,35	357,6	875,4	
MEG			CI 2004	CI 2011	
Inversión MUS\$	120	23,337			45,990
Capacidad TM/AÑO	600000	67602,03	444,2	875,4	
PET			CI 2001	CI 2011	
Inversión MUS\$	28	31,072			68,983
Capacidad TM/AÑO	150000	172331,52	394,3	875,4	
			Inversión Total :		247,54585

## b) Evaluación de Egresos

Se calculó los egresos que originaría la implementación de la planta de poliéster

Costos Fijos			\$/Año
1	Mantenimiento (% de Inv. Fija)	2,50%	\$ 6.188.646
2	Seguros ( % de Inversión Fija)	0,50%	\$ 1.237.729
3	Trabajadores (Ingr. Mensual + Todos los Beneficios) 120 p	\$2000	\$ 3.600.000
4	Depreciación (%Inversión Fija)	10%	\$ 24.754.585
5	Otros (Auditorías Técnica/ Económica, Monitoreos)		\$ 500.000
		Sub-Total	\$ 36.280.961

Costos Variables		Consumo /año	Precio \$/MWh	\$/Año
6	Electricidad(MWh)	102264	150	\$ 15.339.600
7	Otros (Prod. Químicos, catalizadores, Agua)			\$ 6.500.000
			Sub-Total	\$ 21.839.600

Materia Prima	t <sub>operación</sub> = 8000 horas	MTn/Año	Precio \$/Tn	\$/Año
8	Gas Natural	1518400,935	0,198	\$ 300.727
9	PTA	150602,91	500	\$ 75.301.454
10	Otros (catalizadores e insumos químicos)			\$ 3.000.000
			Sub-Total	\$ 78.602.181

Impuestos			\$/Año
11	Aranceles (% otros (prod. Quimicos, vapor, Agua))	15%	\$ 12.270.218
12	IGV (% de 8 y Materia Prima)	19%	\$ 16.169.414
		Sub-Total	\$ 28.439.633

<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>\$</b>	<b>165.162.375</b>
----------------------	-----------	--------------------

## c) Evaluación de los Ingresos

Se calculó los ingresos obtenidos de la venta del PET en el mercado nacional, para lo cual primero se trabajo con los datos obtenidos en el estudio de mercado y se escogió el precio más competitivo para el mercado nacional (\$ 1112.20 por TN de PET)

AÑO	FOB ( M\$ )	CIF ( M\$ )	Peso Neto ( TM )	Precio M\$/TM
2004	80,527,930	83,893,692	72,404,677	1.11219238
2005	130,503,614	108,779,979	79,806,263	1.635255293
2006	98,501,042	103,950,313	77,087,884	1.277775921
2007	143,582,281	150,470,084	103,793,117	1.383350699
2008	132,442,483	140,019,619	88,695,916	1.493219631

	PRODUCCION (TM/AÑO)	VALOR DE VENTA UNITARIO	VALOR
<b>PRODUCTO</b>	<b>Olefina</b>	<b>\$/Tn</b>	<b>US\$</b>
PET	<b>172,331.494</b>	1112.1924	<b>\$ 191,665,774</b>

#### d) Evaluación Económica

Se realizó los cálculos para un periodo de operación de diez años y se obtuvo la siguiente data, en el cual se aprecia los valores del VAN y TIR

<b>Tasa</b>	<b>15%</b>
<b>VAN</b>	<b>\$ 10.360.314</b>
<b>TIR</b>	<b>16%</b>
<b>PAYOUT</b>	<b>6,0</b>



## CAPITULO IX : RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

1. Debemos tener en cuenta no sólo al mercado local sino también internacional principalmente a la región Sudamérica que podrían ser nuestros posibles compradores pero también nuestros competidores, además de ver como se maneja la economía global la cual afecta nuestros costos como también nuestras ganancias.
2. Al ubicarse el proyecto en el área establecida para el complejo petroquímico se deberá trabajar en conjunto con las demás plantas para tener en común un estudio ambiental y la cooperación entre las plantas para el uso en común de los servicios que se usaran.
3. Las tecnologías escogidas en cada etapa del proceso se determinaron según la mayor de cantidad de ventajas ofrecidas al proyecto y al logro de un mayor rendimiento para cada etapa.

<b>Procesos de Producción de</b>	<b>Licenciantes</b>
Etileno	ABB-Lumus
Oxido de Etileno (OE)	Dow Chemical
Monoetilenglicol (MEG)	Shell - Omega
Polietilentereftalato (PET)	Zimmer AG

4. Se realizó una simulación de cada etapa del proyecto para poder comprobar el corroborar el funcionamiento de cada proceso y observar el desarrollo del mismo
5. Según el estudio económico se observa que el VAN y TIR son positivos para el proyecto el cual demuestra la viabilidad del mismo. Asimismo se puede observar que el payout se encuentra dentro del rango de operación del proyecto que demuestra que este proyecto generará ganancias.

<b>VAN</b>	\$ 10.360.314
<b>TIR</b>	<b>16%</b>
<b>PAYOUT</b>	6,0

## CAPITULO X : BIBLIOGRAFIA

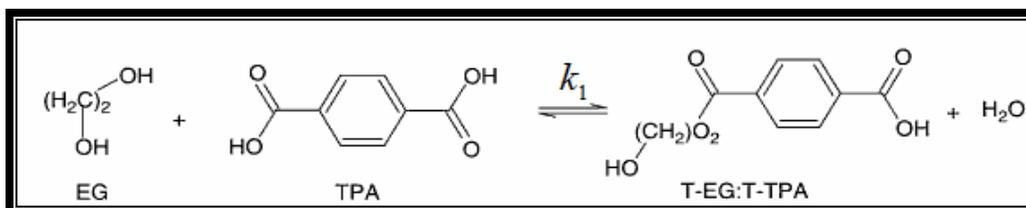
- Hydrocarbon Processing's Petrochemical Process Handbook 2005
- Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio del Energía y Minas - Guía para elaborar Estudios de Impacto Ambiental - Subsector Hidrocarburos, Vol. XVIII, Lima, Dic. 2000.
- Vorgelegt Von - Kinetic and Catalytic Studies of Polyethylene Terephthalate Synthesis — Berlin, 2008
- Jaime Arturo Villanueva López - “Análisis Técnico-Económico para la Producción de Polietilentereftalato”
- [http://www.sbioinformatics.com/design\\_thesis](http://www.sbioinformatics.com/design_thesis)
- <http://www.che.com> - Economic indicators Chemical Engineering May 2009

## CAPITULO XI : ANEXOS

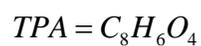
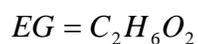
## ANEXO A - CINÉTICA DE LAS REACCIONES

## Reacciones de Polimerización del PET

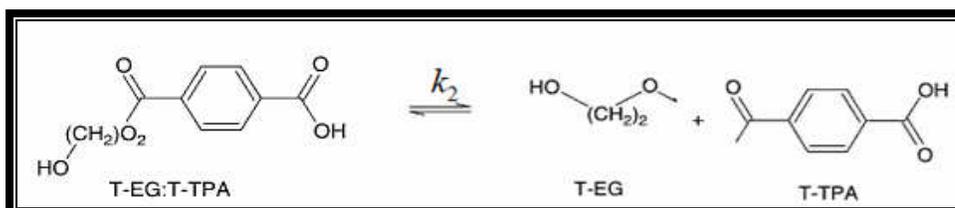
## Reacción 1: Esterificación



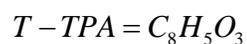
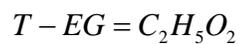
Donde:



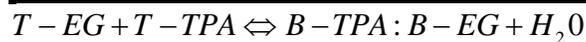
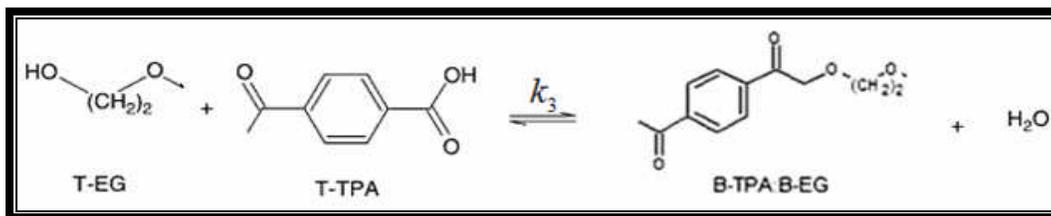
## Reacción 2:



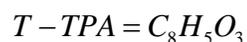
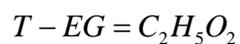
Donde:



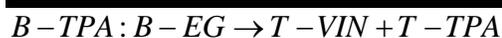
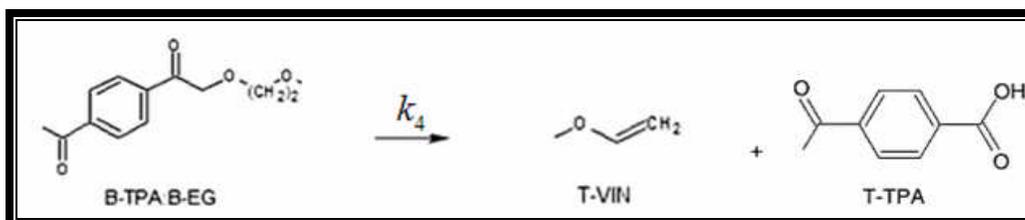
## Reacción 3: Formación del Diester



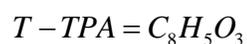
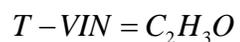
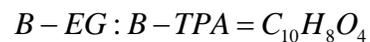
Donde:



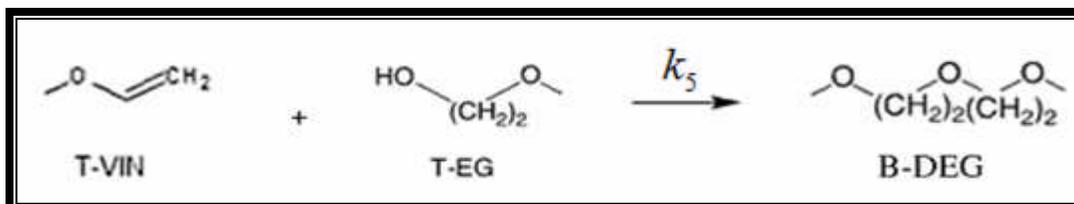
## Reacción 4: Degradación del Diester



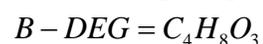
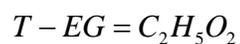
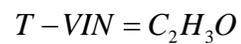
Donde:



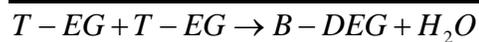
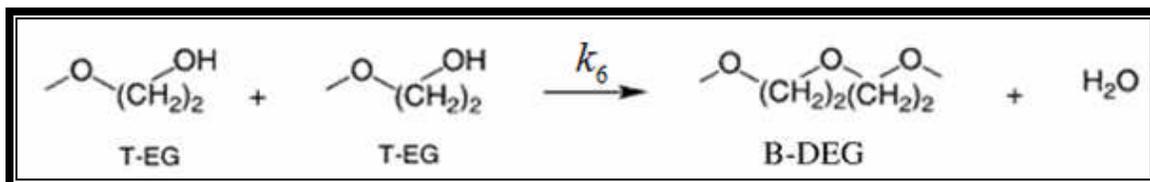
## Reacción 5: Formación del Dietilenglicol



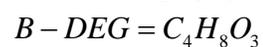
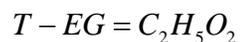
Donde:



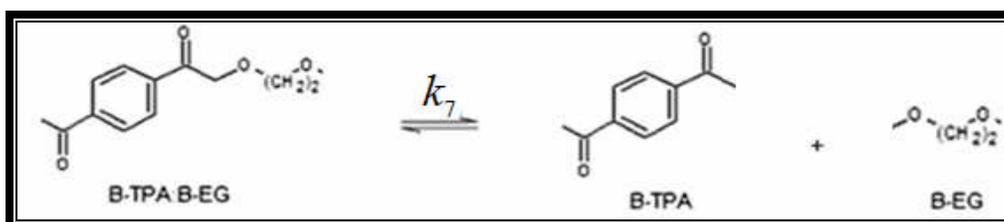
## Reacción 6: Dehidratación de Etilenglicol



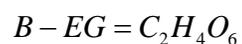
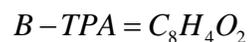
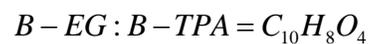
Donde:



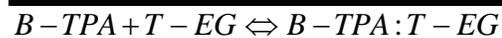
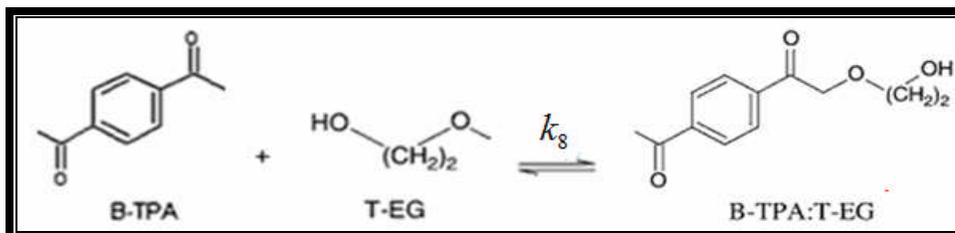
## Reacción 7:



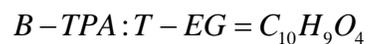
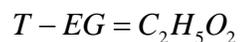
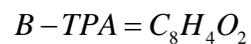
Donde:



## Reacción 8:



Donde:



## Reacción 9: Formación de Acetaldehído

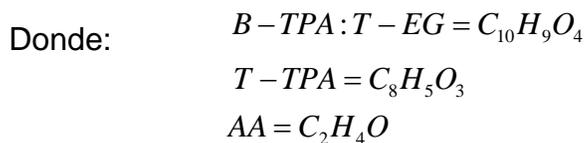
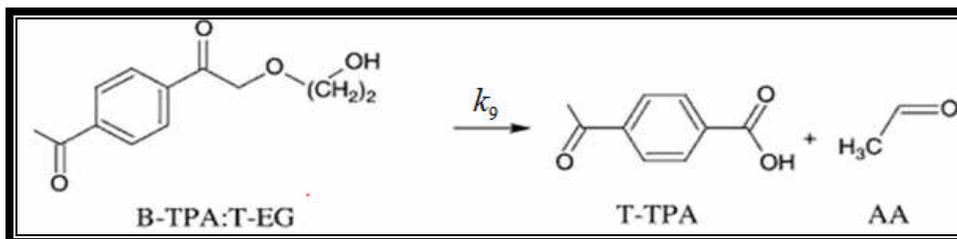
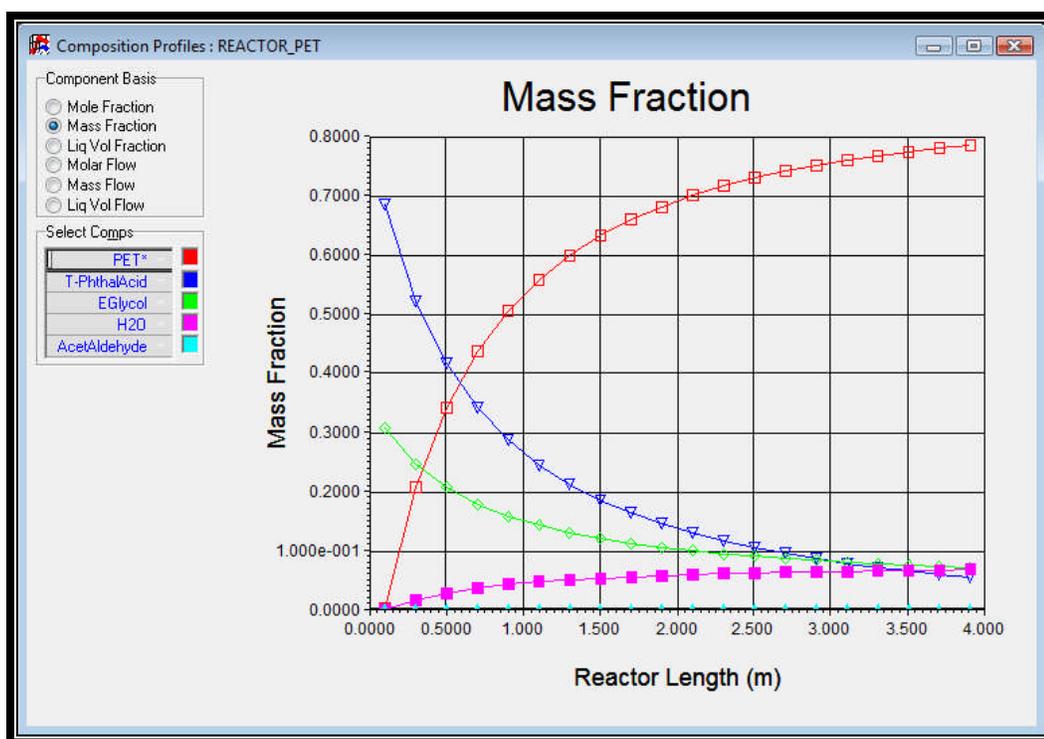


Tabla: Constantes cinéticas

Constante Cinética	A ( $s^{-1}$ o $L.Mol^{-1}s^{-1}$ )	Ea (KJ/Kgmol)
k <sub>1</sub>	$1.20 \times 10^4$	$7.00 \times 10^4$
k <sub>2</sub>	$0.37 \times 10^3$	$7.36 \times 10^4$
k <sub>3</sub>	$0.50 \times 10^4$	$7.74 \times 10^4$
k <sub>4</sub>	$2.22 \times 10^7$	$1.61 \times 10^5$
k <sub>5</sub>	$8.32 \times 10^4$	$1.25 \times 10^5$
k <sub>6</sub>	$1.14 \times 10^5$	$1.25 \times 10^5$
k <sub>7</sub>	$2.22 \times 10^7$	$7.74 \times 10^4$
k <sub>8</sub>	$0.17 \times 10^3$	$7.74 \times 10^4$
k <sub>9</sub>	$4.77 \times 10^7$	$1.25 \times 10^5$

Fuente: Chemical Engineering Science

Gráfico A: SIMULACION DE LA CINETICA



El grafico A muestra el porcentaje en masa versus la longitud del reactor tubular.

## ANEXO B - SIMULACIÓN DEL PROCESO

### 1. Planta de steam cracking de etano

#### Zona Caliente

En esta zona se encuentra el horno de cracking que posee dos zonas bien diferenciadas como son la de convección donde ingresa el vapor de dilución y la zona de radiación donde se encuentra el reactor.

Se ha considerado en la simulación la alimentación previo mezclado en el mixer de etano y un reciclo de etano como alimento al reactor para producir las diferentes reacciones de craqueo y se ha considerado el ingreso de calor E1 al reactor que es equivalente al calor que generaría el vapor de dilución para el craqueo (Fig. 1.1).

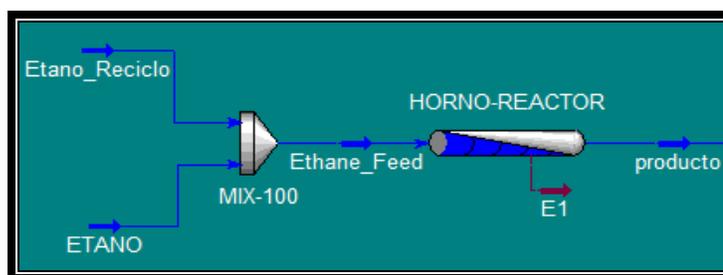


Fig. 1.1 Alimentación al horno de cracking

Las condiciones de operación del horno reactor esta comprendida para las reacciones de craqueo entre los 600 y 900°C de temperatura y una presión de 44 psia con una caída de presión de 14.7 psia. Los productos que salen del reactor pasan rápidamente a un sistema de enfriamiento para evitar que sigan avanzando las reacciones secundarias.

En la simulación se ha considerado un sistema de enfriamiento y compresión. De estos últimos, se separan los gases los cuales son licuados (menos de -73°C) y comprimidos (efecto Joule-Thompson) hasta una presión necesaria y enviados a la zona fría (Fig. 1.2).

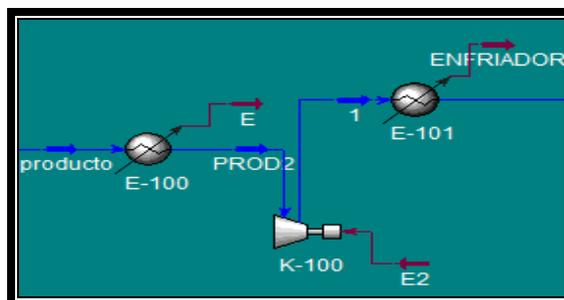


Fig. 1.2 Sistema de enfriamiento y compresión

La compresión final llega hasta los 330 psia y el enfriamiento hasta los  $-130^{\circ}\text{C}$  para el posterior ingreso a la demetanizadora.

### Zona Fría

En la zona fría la alimentación ingresa a la primera columna de destilación (demetanizadora), en donde se extrae el hidrógeno y el metano por el tope a una temperatura de  $-130^{\circ}\text{C}$  y 330 psia de presión. Por el fondo de la columna salen los componentes pesados  $\text{C}_2+$  (Fig. 1.3).

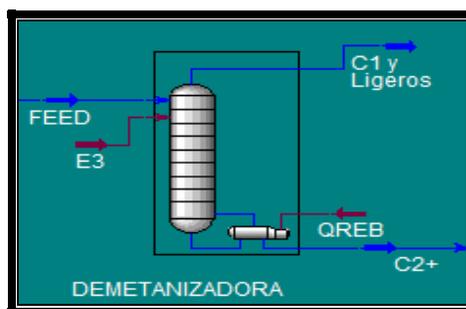


Fig. 1.3 demetanizadora

Los  $\text{C}_2+$  salen a una temperatura de  $-23^{\circ}\text{C}$  hacia la columna deetanizadora el cual impulsados por una bomba aumenta la presión de la corriente.

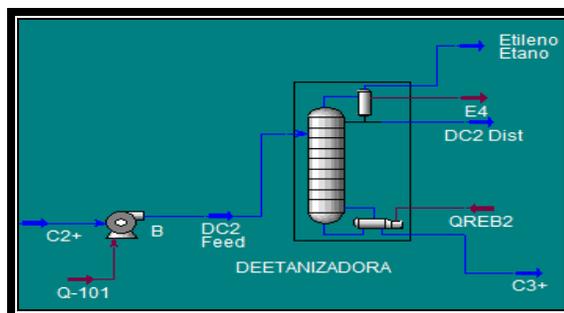


Fig. 1.4 Columna deetanizadora

En la columna deetanizadora se separa por el tope etileno y etano a una temperatura de  $-12^{\circ}\text{C}$  y por el fondo  $\text{C}_3+$  que básicamente esta compuesta por un residuo de butadieno a  $125^{\circ}\text{C}$  (Fig. 1.4).

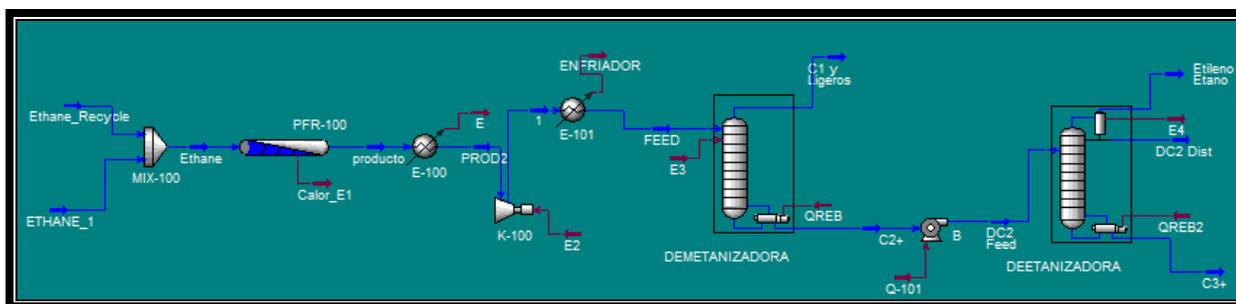


Fig. 1.5 Esquema de la planta de steam cracking

Tabla 1: Datos de entrada para el reactor Tubular

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	600	$^{\circ}\text{C}$	T Entrada del reactor
$F_{\text{Etano}}$	4061.72	Kg/h	a $600^{\circ}\text{C}$
$F_{\text{H}_2\text{O(v)}}$	8.14	Kg/h	a $600^{\circ}\text{C}$
V	18.00	$\text{m}^3$	Volumen del reactor
P	304	kPa	Presión del reactor

Tabla 2: Datos de salida para el reactor Tubular

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	900	°C	T Salida del reactor
F <sub>ET</sub>	3063.46	Kg/h	a 900 °C
F <sub>(H2+CH4)</sub>	641.63	Kg/h	a 900 °C
F <sub>C3+</sub>	360.39	Kg/h	a 900 °C
F <sub>Gases ácidos</sub>	4.38	Kg/h	a 900 °C

Tabla 3: comparación de resultados-flujo másico

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(ABB)	Salida(ABB)
T	600 °C	900 °C	600 °C	900 °C
F <sub>Etano</sub>	4061.72 Kg/h	-	4061.72 Kg/h	-
F <sub>H2O(v)</sub>	8.14 Kg/h	-	8.14 Kg/h	-
F <sub>ET</sub>	-	3063.46 Kg/h	-	3129.72 Kg/h
F <sub>(H2+CH4)</sub>	-	641.63 Kg/h	-	577.92 Kg/h
F <sub>C3+</sub>	-	360.39 Kg/h	-	358.15 Kg/h
F <sub>Gases ácidos</sub>	-	4.38 Kg/h	-	4.07 Kg/h
<b>Total</b>	<b>4069.86 Kg/h</b>	<b>4069.86 Kg/h</b>	<b>4069.86 Kg/h</b>	<b>4069.86 Kg/h</b>

Tabla 4: comparación de resultados-%flujo másico

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(ABB)	Salida(ABB)
T	600 °C	900 °C	600 °C	900 °C
%F <sub>Etano</sub>	0.998	-	0.998	-
%F <sub>H2O(v)</sub>	0.020	-	0.020	-
%F <sub>ET</sub>	-	0.752	-	0.769
%F <sub>(H2+CH4)</sub>	-	0.158	-	0.142
%F <sub>C3+</sub>	-	0.088	-	0.088
%F <sub>Gases ácidos</sub>	-	0.002	-	0.001
<b>%Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

## 2. Planta de Oxidación de Etileno

El etileno que sale de la deetanizadora se separa del etano y se envía a la planta de oxidación y se mezcla con oxígeno en una proporción de 1 a 2 a una presión de 10 bar (Fig. 1.6).

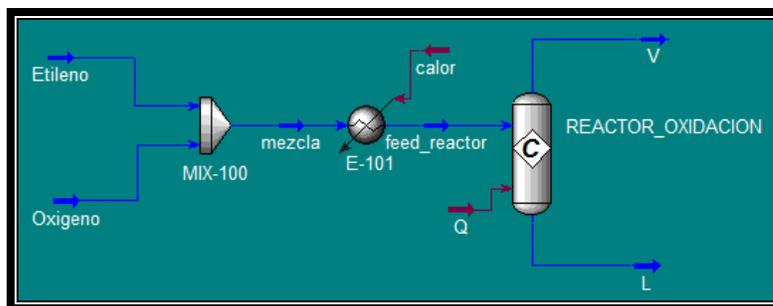


Fig. 1.6 Reactor de Oxidación

La mezcla se calienta hasta 250 °C y entra al reactor de oxidación. Los vapores salen a 400 °C y luego pasan a un sistema de enfriamiento hasta llegar a -47 °C para separar el oxido de etileno del los componentes ligeros (aire, CO<sub>2</sub>) (Fig. 1.7).

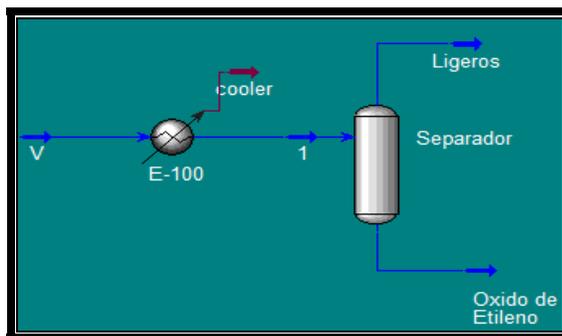


Fig. 1.7 Separador de Oxido de Etileno

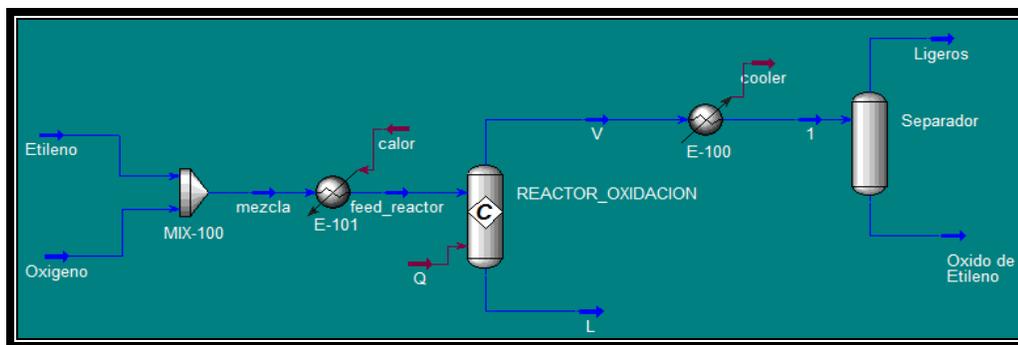


Fig. 1.8 Esquema de la planta de Oxido de Etileno

Tabla 1: Datos de entrada para el reactor de Oxidación.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	250	°C	T Entrada del reactor
$F_{ET}$	3129.72	Kg/h	a 250 °C
$F_{AIRE}$	5812.34	Kg/h	a 250 °C
V	18.00	m <sup>3</sup>	Volumen del reactor
P	10.00	bar	Presión del reactor

Tabla 2: Datos de salida para el reactor de Oxidación.

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	400	°C	T Salida del reactor
$F_{OE}$	3541.35	Kg/h	a 400 °C
$F_{N2}$	4680.02	Kg/h	a 400 °C
$F_{ET(*)}$	720.69	Kg/h	a 400 °C

Tabla 3: comparación de resultados-flujo másico

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(DOW)	Salida(DOW)
T	250 °C	400 °C	250 °C	400 °C
$F_{ET}$	3129.72 Kg/h	-	3129.72 Kg/h	-
$F_{AIRE}$	5812.34 Kg/h	-	5812.34 Kg/h	-
$F_{OE}$	-	3541.35 Kg/h	-	3755.67 Kg/h
$F_{N2}$	-	4680.02 Kg/h	-	4650.45 Kg/h
$F_{ET(*)}$	-	720.69 Kg/h	-	625.94 Kg/h
<b>Total</b>	<b>8942.06 Kg/h</b>	<b>8942.06 Kg/h</b>	<b>8942.06 Kg/h</b>	<b>8942.06 Kg/h</b>

**Tabla 4: comparación de resultados-%flujo másico**

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(DOW)	Salida(DOW)
$T$	250 °C	400 °C	250 °C	400 °C
%F <sub>ET</sub>	0.350	-	0.350	-
%F <sub>AIRE</sub>	0.650	-	0.650	-
%F <sub>OE</sub>	-	0.396	-	0.420
%F <sub>N2</sub>	-	0.523	-	0.510
%F <sub>ET(*)</sub>	-	0.081	-	0.070
<b>%Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

### 3. Planta de Etilenglicol

El oxido de etileno se mezcla con agua en un mixer para su posterior ingreso al reactor a 200 °C en una proporción de 2 a 3 a una presión de 1bar (Fig. 1.9).

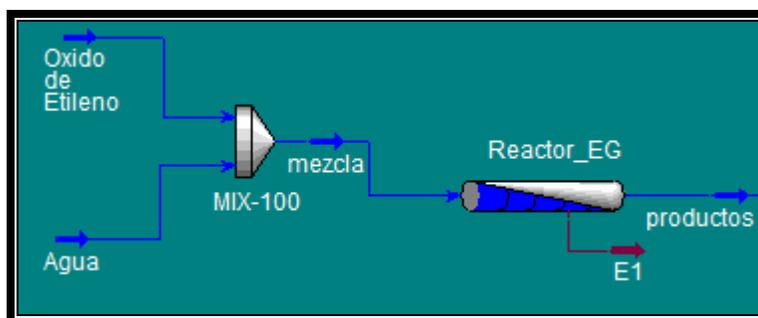


Fig. 1.9 Reactor de etilenglicol

El líquido que sale del reactor a 230 °C y se enfría previamente para ingresar a la columna a 65 °C y 90kPa para separar el etilenglicol. Por el fondo de la columna sale el etilenglicol que luego será enviado a la planta de polimerización (Fig. 2.0).

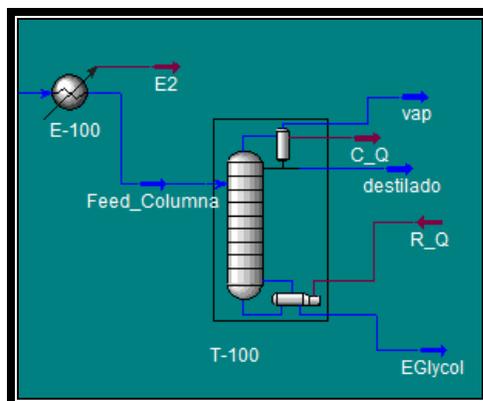


Fig. 2.0 Columna de etilenglicol

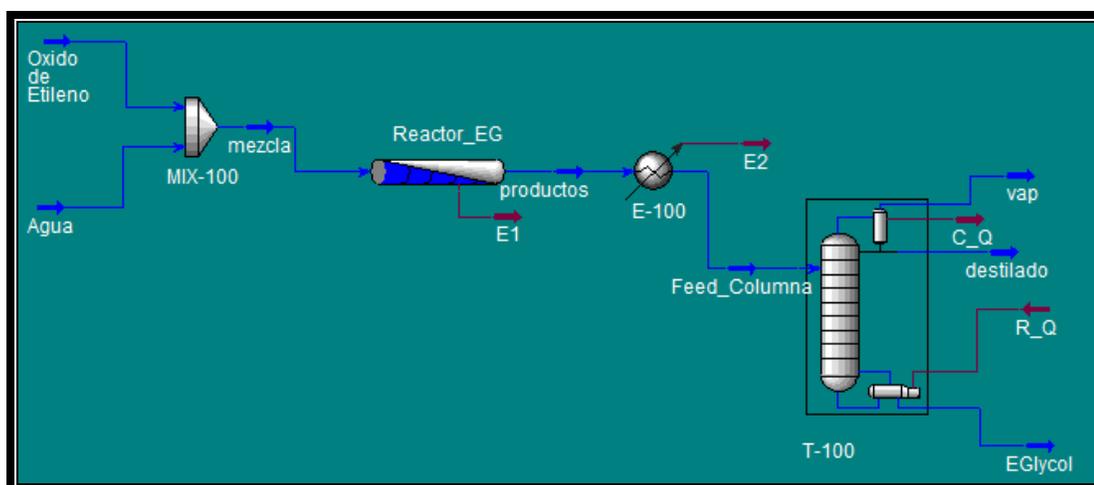


Fig. 2.1 Esquema de la planta de Etilenglicol

Tabla 1: Datos de entrada para el reactor tubular

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	200	°C	T Entrada del reactor
$F_{OE}$	3755.67	Kg/h	a 200 °C
$F_{H2O}$	5633.50	Kg/h	a 200 °C
V	15.00	m <sup>3</sup>	Volumen del reactor
P	1	bar	Presión del reactor

**Tabla 2: Datos de salida para el reactor tubular**

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	270	°C	T Salida del reactor
F <sub>EG</sub>	8342.92	Kg/h	a 270 °C
F <sub>H2O(*)</sub>	423.93	Kg/h	a 270 °C
F <sub>CO2</sub>	327.41	Kg/h	a 270 °C
F <sub>OE(*)</sub>	294.91	Kg/h	a 270 °C

**Tabla 3: comparación de resultados-flujo másico**

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(SHELL)	Salida(SHELL)
<i>T</i>	<i>200 °C</i>	<i>270 °C</i>	<i>200 °C</i>	<i>270 °C</i>
F <sub>OE</sub>	3755.67 Kg/h	-	3755.67 Kg/h	-
F <sub>H2O</sub>	5633.50 Kg/h	-	5633.50 Kg/h	-
F <sub>EG</sub>	-	8342.92 Kg/h	-	8450.25 Kg/h
F <sub>H2O(*)</sub>	-	423.93 Kg/h	-	422.51 Kg/h
F <sub>CO2</sub>	-	327.41 Kg/h	-	328.62 Kg/h
F <sub>OE(*)</sub>	-	294.91 Kg/h	-	187.78 Kg/h
<b>Total</b>	<b>9389.17 Kg/h</b>	<b>9389.17 Kg/h</b>	<b>9389.17 Kg/h</b>	<b>9389.17 Kg/h</b>

**Tabla 4: comparación de resultados-%flujo másico**

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(SHELL)	Salida(SHELL)
<i>T</i>	<i>200 °C</i>	<i>270 °C</i>	<i>200 °C</i>	<i>270 °C</i>
%F <sub>OE</sub>	0.400	-	0.400	-
%F <sub>H2O</sub>	0.600	-	0.600	-
%F <sub>EG</sub>	-	0.889	-	0.900
%F <sub>H2O(*)</sub>	-	0.045	-	0.045
%F <sub>CO2</sub>	-	0.035	-	0.035
%F <sub>OE(*)</sub>	-	0.031	-	0.020
<b>%Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>

### 3. Planta de Polimerización-PET

El etilenglicol es enviado a la planta de polimerización y es mezclado con ácido tereftálico (TPA) enviado al reactor tubular a 270 °C y 1bar (Fig. 2.2).

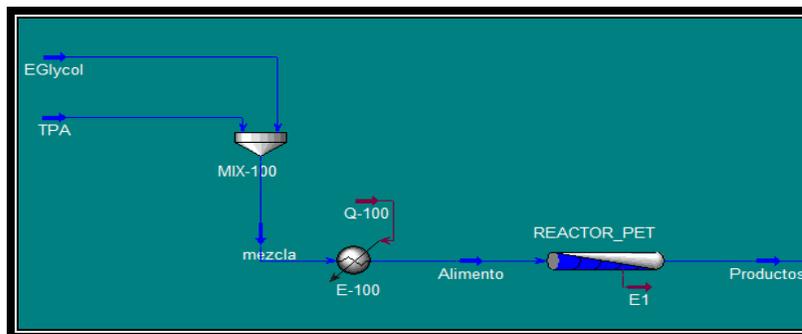


Fig. 2.2 Reactor PET

Los productos salen a 300 °C son enviados a un separador en el cual por el fondo sale el PET (Fig. 2.3).

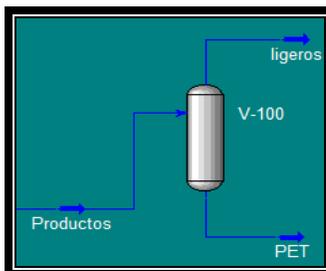


Fig. 2.3 Separador del PET

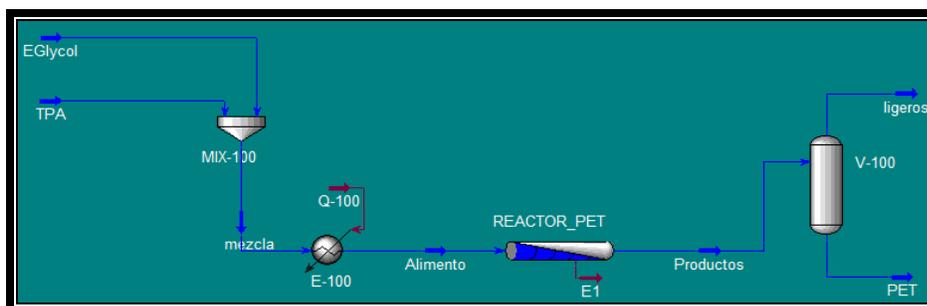


Fig. 2.4 Esquema de la planta polietilentereftalato

**Tabla 1: Datos de entrada para el reactor tubular**

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	270	°C	T Entrada del reactor
F <sub>EG</sub>	8450.25	Kg/h	a 270 °C
F <sub>PTA</sub>	18825.36	Kg/h	a 270 °C
V	12.00	m <sup>3</sup>	Volumen del reactor
P	1	bar	Presión del reactor

**Tabla 2: Datos de salida para el reactor tubular**

Parámetro	Valor	Unidad	Observaciones
T	300	°C	T Salida del reactor
F <sub>PET</sub>	20958.35	Kg/h	a 300 °C
F <sub>H2O</sub>	4252.78	Kg/h	a 300 °C
F <sub>EG(*)</sub>	1560.46	Kg/h	a 300 °C
F <sub>PTA(*)</sub>	504.02	Kg/h	a 300 °C

**Tabla 3: comparación de resultados-flujo másico**

Parámetro	Entrada(Simulador)	Salida(Simulador)	Entrada(Zimmer)	Salida(Zimmer)
T	270 °C	300 °C	270 °C	300 °C
F <sub>EG</sub>	8450.25 Kg/h	-	8450.25 Kg/h	-
F <sub>PTA</sub>	18825.36Kg/h	-	18825.36 Kg/h	-
F <sub>CAT</sub>	-	-	27.31Kg/h	-
F <sub>PET</sub>	-	20958.35 Kg/h	-	21541.44 Kg/h
F <sub>H2O</sub>	-	4252.78 Kg/h	-	4205.71 Kg/h
F <sub>EG(*)</sub>	-	1560.46 Kg/h	-	1555.77 Kg/h
F <sub>PTA(*)</sub>	-	504.02 Kg/h	-	-
<b>Total</b>	<b>27275.61 Kg/h</b>	<b>27275.61 Kg/h</b>	<b>27302.92 Kg/h</b>	<b>27302.92 Kg/h</b>

**Tabla 4: comparación de resultados-%flujo másico**

<b>Parámetro</b>	<b>Entrada(Simulador)</b>	<b>Salida(Simulador)</b>	<b>Entrada(Zimmer)</b>	<b>Salida(Zimmer)</b>
<i>T</i>	<i>270 °C</i>	<i>300 °C</i>	<i>270 °C</i>	<i>300 °C</i>
%F <sub>EG</sub>	0.309	-	0.310	-
%F <sub>PTA</sub>	0.691	-	0.690	-
%F <sub>CAT</sub>	-	-	0.001	-
%F <sub>PET</sub>	-	0.768	-	0.789
%F <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	-	0.156	-	0.154
%F <sub>EG(*)</sub>	-	0.058	-	0.057
%F <sub>PTA(*)</sub>	-	0.018	-	-
<b>%Total</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>