

DOI: <https://doi.org/10.52428/20758944.v12i38.667>

Artículo Científico

## ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE OLIGOMERIZACIÓN CATALÍTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE GASOLINA DE ALTO OCTANAJE A PARTIR DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO EN BOLIVIA

### PREFEASIBILITY STUDY FOR A CATALYTIC OLIGOMERIZATION PLANT IMPLEMENTATION FOR THE PRODUCTION OF HIGH OCTANE GASOLINE FROM LIQUEFIED PETROLEUM GAS IN BOLIVIA

Lic. Liliana Carina Rodriguez Condori 1  
Ing. Gabriela Chirobocea de Rivera 2

#### RESUMEN

En Bolivia, la demanda de gasolina ha ascendido notablemente en los últimos años. La tradicional forma de obtener la gasolina en el país es por destilación del petróleo, pero debido a la calidad del crudo en Bolivia, la gasolina producida tiene bajos rangos de octanaje, además no abastece el mercado interno y se ve la necesidad de importar, lo cual significa un impacto económico negativo. De esta manera el presente proyecto tuvo como objetivo principal estudiar los diferentes aspectos técnicos y económico-financieros para la implementación de una planta de oligomerización catalítica como alternativa, para producir gasolina de alto octanaje considerando el gas licuado de petróleo como materia prima disponible en Bolivia.

Se determinó que la planta estará ubicada en el departamento de Santa Cruz, municipio Cabezas próximo a la planta de separación de Líquidos Rio Grande, el cual proveerá la materia prima requerida. Así también se estimó una capacidad de producción de 685.192 Bbl/año.

Para el diseño de la planta se seleccionó la tecnología correspondiente al proceso industrial U.O.P., perteneciente a una de las empresas americanas multinacionales más importantes de la industria petrolera, con una inversión estimada de US\$ 48,40 MMU y se determinó la rentabilidad económica, con un Valor Actual Neto de US\$ 109,81 MMU, una Taza Interna de Retorno de 17,01% y un Pay Back de 5,33 años.

Finalmente, se demostró la factibilidad económico-social, considerando que el proyecto permitirá el desarrollo de nueva tecnología, nuevas fuentes de empleos directos e indirectos, y diversos beneficios para el país.

**Palabras Clave:** Catálisis. Oligomerización catalítica. Naftas de alto octanaje. Reactores catalíticos-Implementación.

#### ABSTRACT

In Bolivia, gasoline demand has risen very sharply in recent years. The traditional way to get gasoline in the country is by distillation of oil, but because of the quality of oil in Bolivia, the gasoline produced has low ranges octane also does not supply the domestic market and sees the need to import it which means a negative economic impact. Thus this project's main objective was to study the various technical and economic-financial aspects for the implementation of a catalytic oligomerization plant alternatively, to produce high-octane gasoline considering liquefied petroleum gas as a raw material available in Bolivia.

It was determined that the plant will be located in the department of Santa Cruz, a town next heads to liquids separation plant Rio Grande, which will provide the raw2 material required. And a capacity of 685.192 Bbl production/year was also estimated.

For plant design the appropriate technology to industrial process was U.O.P., belonging to one of the most

Páginas 57 a 77

Fecha de Recepción: 08/12/16

Fecha de Aprobación: 09/12/16

- 1) Licenciatura en Ingeniería en Petróleo, Gas y Energías. Univalle Cochabamba. [liliana\\_rc\\_92@live.com](mailto:liliana_rc_92@live.com)
- 2) Ingeniera con perfil de Química y Especialización en Tecnología de la transformación de petróleo y petroquímica de Ploiesti, Rumania. Tutora del Proyecto de Grado. Univalle Cochabamba. [ybaguirob@yahoo.com](mailto:ybaguirob@yahoo.com)

important American multinational companies in the oil industry, it was selected with an estimated US\$ 248,40 MUS investment and economic profitability was determined, with a net present value of US\$ 109,81 MUS, an internal rate of return of 17,01% and Pay Back of 5,33 years.

Finally, the economic and social feasibility was demonstrated considering that the project will enable the development of new technology, new sources of direct and indirect jobs and various benefits for the country.

**Keywords:** Catalysis. Catalytic oligomerization. High octane naphthas. Catalytic Reactors-Implementation.

### INTRODUCCIÓN

Bolivia es un país rico en diversos recursos naturales que no son aprovechados al 100 % por diferentes limitaciones que tiene la nación, se conoce que los volúmenes de producción de hidrocarburos líquidos y gas natural en el país ascendieron considerablemente en los últimos años. Sin embargo, Bolivia produce mayormente Gas Natural, de manera que se está desarrollando en gran escala la producción, procesamiento y comercialización de este recurso.

Esto se demuestra con la reciente instalación y puesta en marcha de la planta de separación de líquidos Rio Grande de Santa Cruz y la de Gran Chaco en Tarija. Por lo tanto, se destaca que la producción de GLP ascendió en un 30 % en el país y se estima un excedente en la producción de este producto, a pesar de la exportación a países como Uruguay y Paraguay.

Bolivia está ubicada en la posición número 97 de consumo de combustibles en el mundo, pues la demanda de combustibles en el país ha aumentado aceleradamente. El anuario estadístico 2012 del Ministerio de Hidrocarburos y Energía, detalla que el consumo nacional de gasolina alcanzó los 3.238.683 litros por día, a pesar de intentar contrarrestar esta creciente demanda de gasolina, con proyectos de incentivo al uso del Gas Natural Vehicular según Schlumberger, (2003-2004). Esta creciente demanda de gasolina se debe al gran crecimiento del parque automotor; en el año 2013 el parque automotor boliviano estuvo compuesto por 1.326.833 vehículos, cantidad superior en un 9,95% a la registrada en el año 2012, cuando alcanzó 1.206.751 vehículos, según datos del Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) y del Instituto Nacional de Estadística (INE); de esta cantidad de vehículos, el 80,03% está constituido por vehículos a gasolina, según datos del (INE).

La tradicional forma de obtener la gasolina en el país es por el proceso de destilación del petróleo, pero debido a la calidad del crudo en Bolivia, la gasolina producida tiene bajos rangos de octanaje, además no abastece al mercado interno. Frente a esta situación, Bolivia ve la necesidad de importar este producto de países vecinos, lo cual significa un impacto negativo económicamente para el país.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene por objeto estudiar los diferentes aspectos técnicos y financieros para la implementación de una planta de Oligomerización Catalítica. Este proceso aplicado a olefinas ligeras como el propeno y el buteno representa una importante ruta industrial y sostenible, para la producción de combustibles con alto índice de octanaje, libre de azufre y componentes aromáticos, siendo estas sustancias peligrosas para el hombre.

El enfoque de investigación aplicado fue cualitativo y cuantitativo, ya que se utilizaron teorías particulares y, además, se describió el proceso estudiado como las propiedades del producto.

El diseño de la planta de Oligomerización Catalítica plantea 4 unidades, las 3 primeras tratan la materia prima (Gas Licuado de Petróleo) hasta obtener las olefinas que constituyen la carga para la cuarta unidad que corresponde al proceso en sí, con el que se obtiene la gasolina de alto índice octánico.

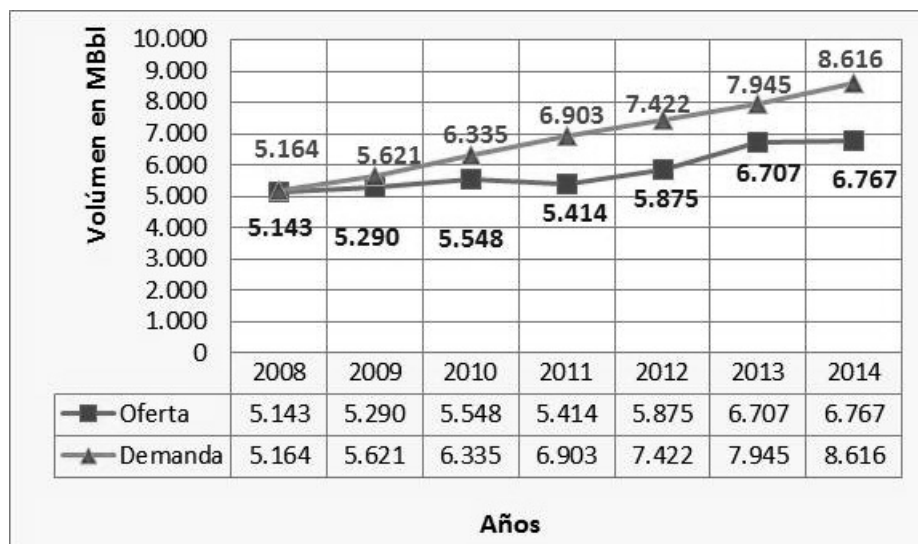
### MATERIALES Y MÉTODOS

La finalidad del estudio de mercado es demostrar la existencia o no de una demanda insatisfecha, que justifique bajo ciertas condiciones la puesta en marcha de un programa de producción, de ciertos bienes o servicios en un determinado tiempo (1).

El principal producto del proyecto es la gasolina de alto octanaje y el mercado estará constituido por la población boliviana, es decir, el producto estará destinado al abastecimiento de la demanda interna de Bolivia.

El análisis se realizó para los tres tipos de gasolina que se producen en el país, gracias a las fuentes (2) y (3) (Ver Figuras N° 1, N° 2 y N° 3).

**Figura N° 1. Evolución de la oferta y demanda de gasolina especial en Bolivia Periodo 2008-2014**



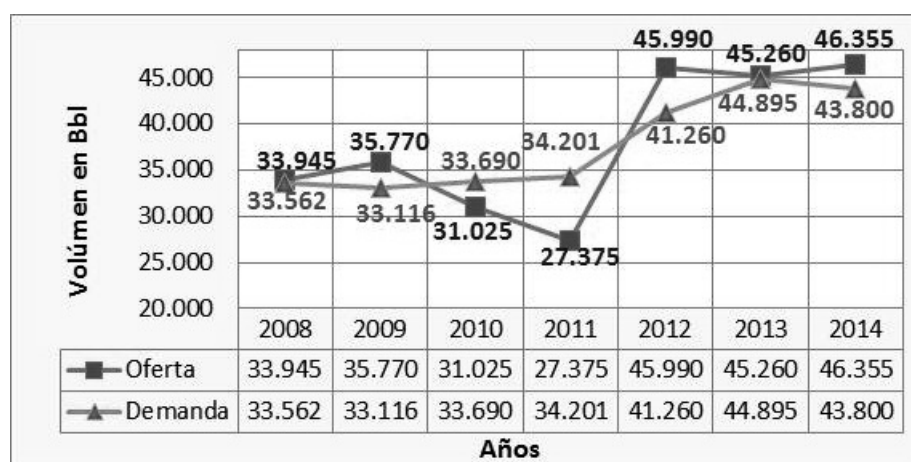
Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Figura N° 2. Evolución de la oferta y demanda de gasolina premium en Bolivia Periodo 2008-2014**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Figura N° 3. Evolución de la oferta y demanda de gasolina de aviación en Bolivia Periodo 2008 - 2014**

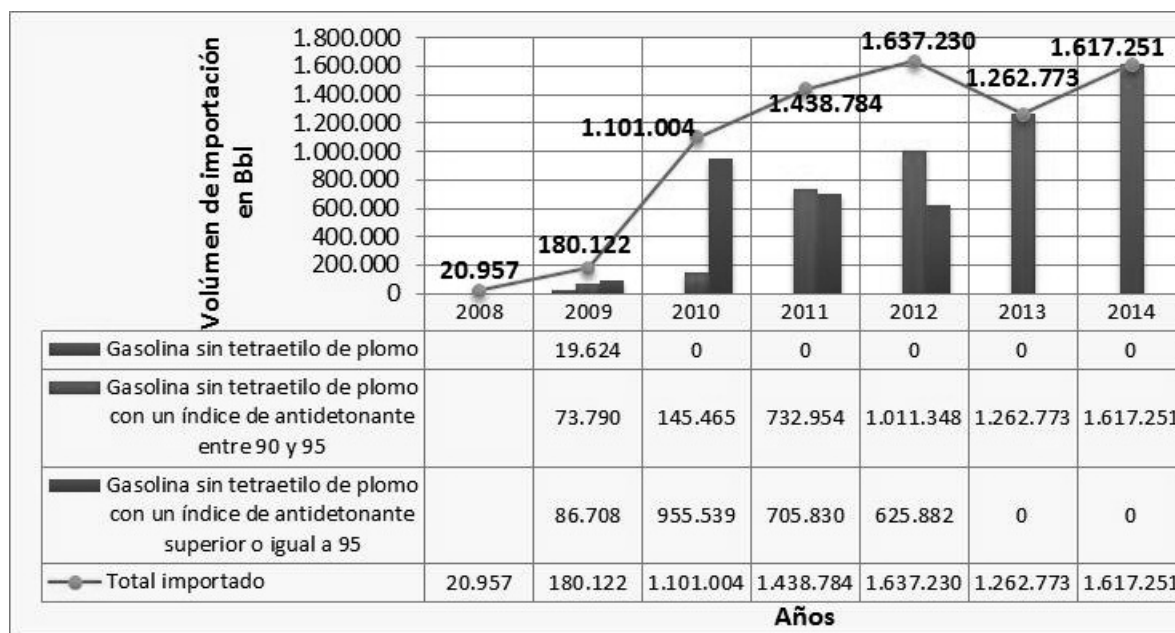


Fuente: Elaboración propia. 2015.

### Volúmenes de importación de gasolina

La figura N° 4 muestra la evolución de los volúmenes de importación de gasolina ante la insuficiencia de la producción interna, durante el periodo de análisis 2008-2014, esto gracias a los datos proporcionados por (4).

**Figura N° 4. Evolución de los volúmenes de importación de gasolina para vehículos automóviles en (Bbl) Periodo 2008-2014**

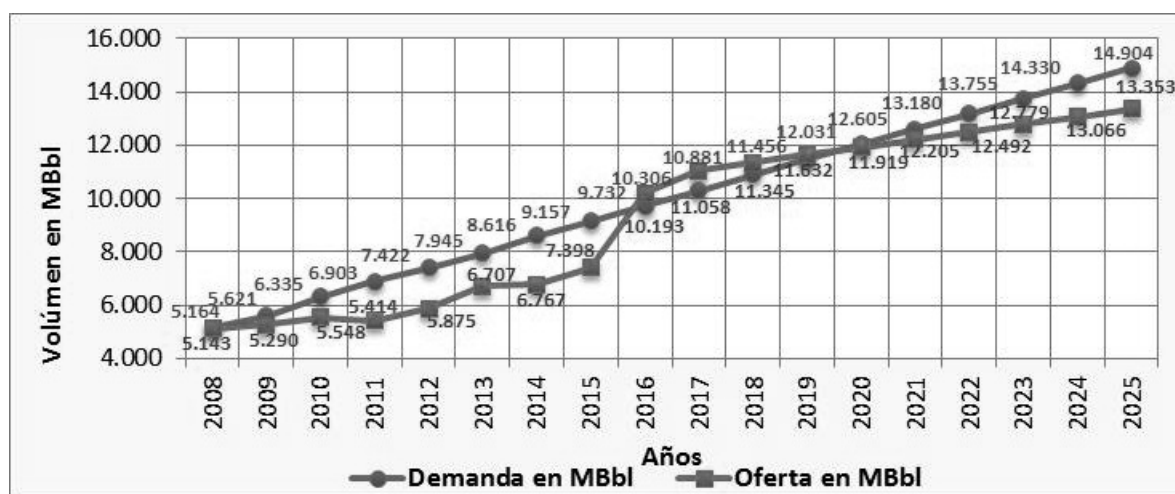


Fuente: Elaboración propia. 2015.

### Proyección de la oferta y demanda de la gasolina en Bolivia

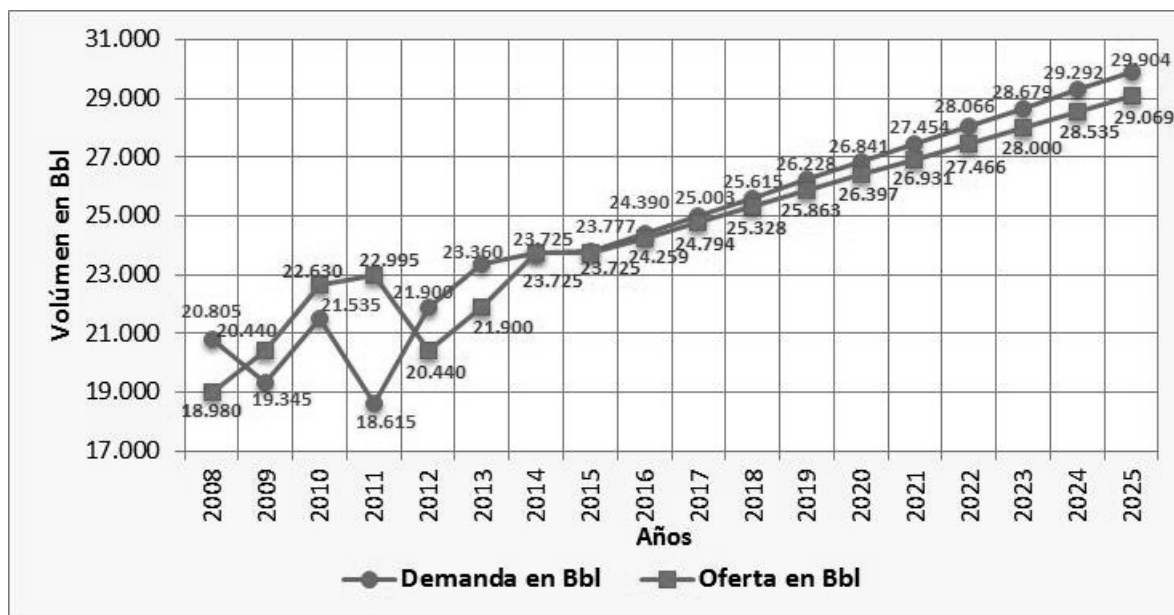
Las figuras N° 5 y N° 6 presentan la proyección de la demanda y oferta de la gasolina especial y premium respectivamente.

**Figura N° 5. Proyección de la demanda y oferta de gasolina especial en Bolivia**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Figura N° 6. Proyección de la demanda y oferta de gasolina premium en Bolivia**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Localización del Proyecto**  
**Localización a nivel macro**

De acuerdo a los factores más importantes a considerar la Tabla N° 1 detalla los tres departamentos

En el presente proyecto los factores que se consideró para la macro localización según (5) son:

seleccionados con algunos datos de importancia para el análisis de macro localización.

- Costo de transporte, de insumos y productos.
- Disponibilidad de materia prima.
- Demanda del producto.
- Condiciones climáticas.

**Tabla N° 1. Análisis de macro localización del proyecto**

FACTOR	LA PAZ			COCHABAMBA			SANTA CRUZ		
	GE	GP	GA	GE	GP	GA	GE	GP	GA
Volumen promedio de producción de materia prima (GLP) al día	0 (TM/día)			317 (TM/día)			589 (TM/día)		
% de participación en la demanda de gasolina a nivel nacional	30,1%	15,9%	1,7%	15,0%	7,1%	4,4%	32,0%	74,3%	54,0%
Temperatura promedio	14 °C			20 °C			27°C		
HR promedio	48%			54%			68%		

Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Localización a nivel micro**

Los factores a considerar según (5) son:

- Vías de acceso.
- Transporte de mano de obra.
- Disponibilidad de Servicios básicos.

Para la selección de la mejor alternativa se tomó en cuenta uno de los factores más importantes y críticos relacionados con el proceso productivo que es la materia prima según (5), para esto, la Tabla N° 2 presenta los volúmenes de producción de materia prima (GLP) en los últimos dos años por los diferentes complejos petroleros del departamento de Santa Cruz.

**Tabla N° 2. Volúmenes de producción de materia prima en (Tm/día) en refinerías y plantas del departamento de Santa Cruz**

Refinería y plantas	AÑOS		PROM	%
	2013	2014		
Refinería Guillermo Elder Bell	61,77	59,41	60,59	10,29%
Refinería Oro Negro	9,97	8,89	9,43	1,60%
Planta de GLP Rio Grande	240,27	213,24	226,76	38,50%
Planta de GLP Colpa	22,57	19,20	20,88	3,54%
Nueva Planta de Separación de Líquidos Rio Grande	212,73	329,96	271,34	46,07%
<b>Total Producción de materia prima</b>	<b>547,31</b>	<b>630,7</b>	<b>589</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia. 2015.

De acuerdo a la Tabla N° 2, y con un estudio del Municipio de Cabezas basado en (6), se concluye que la planta estará ubicada en el departamento de Santa Cruz, Provincia Cordillera, Municipio cabezas próximo a la Planta de Separación de Líquidos Rio Grande (Figura N °7).

**Capacidad del Proyecto**

La capacidad definida como medida del tamaño, se tomó en cuenta los volúmenes de demanda insatisfecha proyectados para el año 2023 (Tabla N° 3).

**Tabla N° 3. Volúmenes de demanda insatisfecha proyectados para el año 2023**

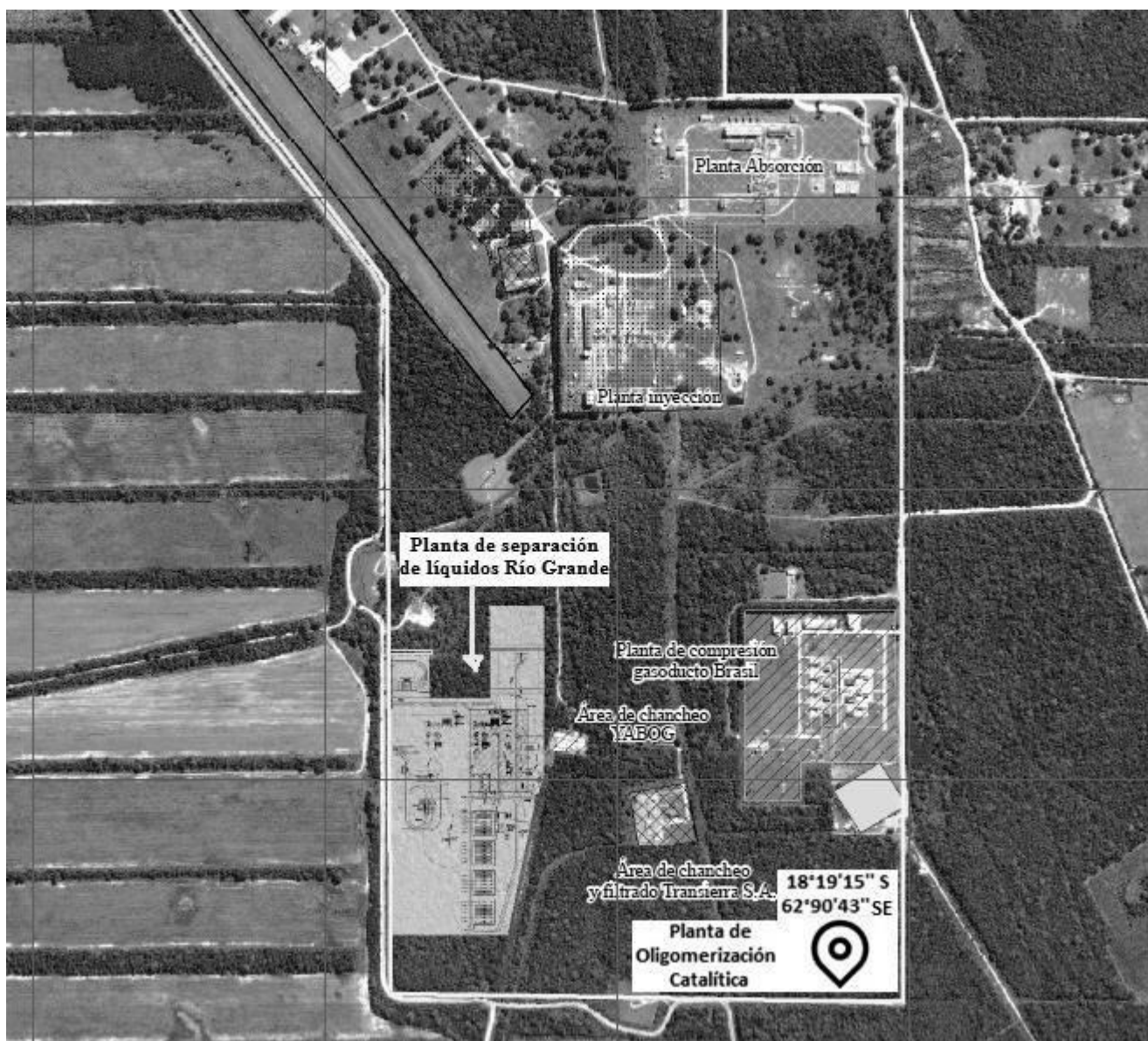
GASOLINA	DEMANDA INSATISFECHA PROYECTADA (2023)	% QUE SE CUBRIRÁ	OBJETIVO DE MERCADO
Gasolina Especial	976 MBbl	70%	683,2 MBbl
Gasolina Premium	0,679 MBbl	100%	0,679 MBbl
<b>Capacidad de la Planta</b>			<b>683,88 MBbl</b>

Fuente: Elaboración propia. 2015.

## Ingeniería del Proyecto

La Figura N° 7 muestra la ubicación de la planta.

**Figura N° 7. Ubicación de la planta de Oligomerización Catalítica en el Municipio de Cabezas**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

### Proceso de Oligomerización Catalítica

La oligomerización de los alquenos se realiza por vía térmica y termo catalítico. Los inconvenientes del proceso térmico, es que se lleva a cabo a la temperatura de 480 a 550 °C y la presión de 10,0 MPa a 13,5 MPa, ocasionando baja selectividad y una fuerte formación

de gases. Por lo tanto, la oligomerización catalítica tiene una mayor difusión, este proceso se desarrolla de acuerdo con el mecanismo de catión carbonio (7).

La Figura N° 8 presenta las características más importantes del proceso de oligomerización catalítica.



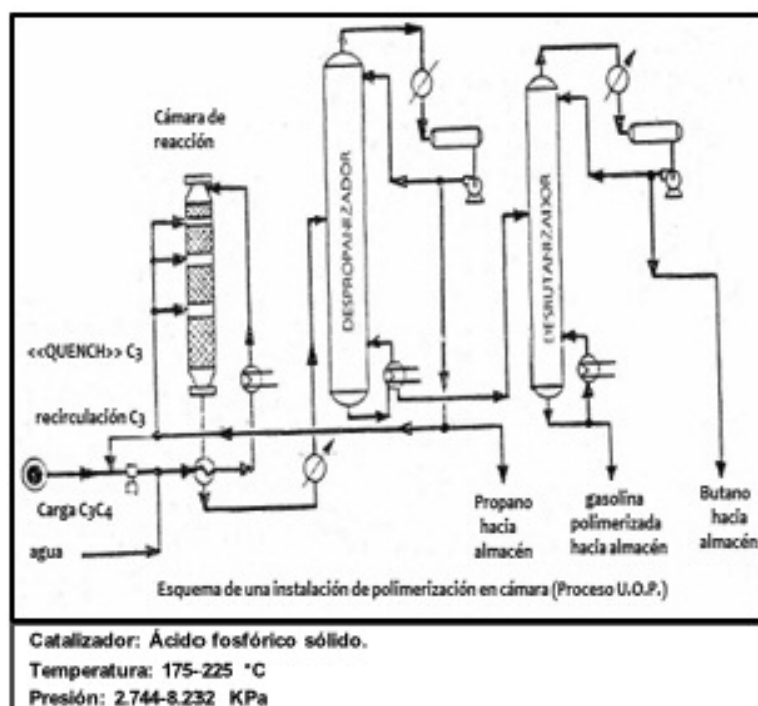
**Figura N° 8. Características de la oligomerización catalítica**

**Materia prima:** Fracciones de propeno-propileno; Fracciones de buteno-butileno

**Termodinámica de las reacciones:** Son exotérmicas; conversiones en equilibrio; Calor de reacción de 300 Kcal/Kg

**Catalizadores:** Gránulos de ácido fosfórico sólido; Ácido fosfórico sobre soporte de cuarzo; Ácido fosfórico líquido; Pirofosfato de cobre

Fuente: Elaboración propia según (7). 2015.

**Figura N° 9. Variables de operación y esquema de instalación del Proceso U.O.P**

Fuente: (7).

### Simulación de la Planta de Oligomerización Catalítica

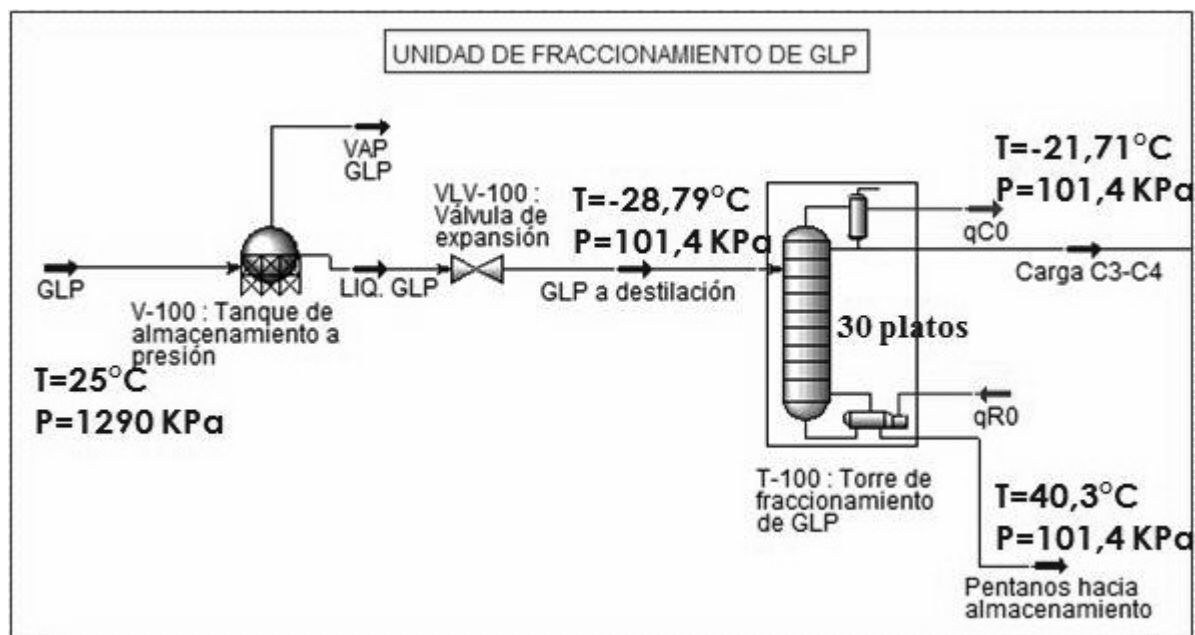
La simulación de la planta fue realizada con el programa simulador de procesos hidrocarburíferos Aspen Hysys V. 8. El diseño de la planta de oligomerización Catalítica plantea 4 unidades: Unidad de fraccionamiento de GLP, Unidad de deshidrogenación, Unidad de Turbo Expansión y la Unidad de Oligomerización Catalítica. Las 3 primeras tratan la materia

prima (Gas Licuado de Petróleo) hasta obtener las olefinas que constituyen la carga para la cuarta unidad que corresponde al proceso en sí.

Simulación de la Unidad de Fraccionamiento de GLP  
El diagrama de la simulación correspondiente a la unidad de fraccionamiento se puede evidenciar en la Figura N°10.



Figura N° 10. Simulación de la Unidad de Fraccionamiento de GLP



Fuente: Elaboración propia con Aspen Hysys. 2015.

#### Simulación de la Unidad de Deshidrogenación

Los datos para la simulación del reactor de esta unidad se presentan en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4. Parámetros cinéticos para el diseño del reactor PFR-100

Reacción	A [s <sup>-1</sup> ]	Ea [KJ/Kgmol]
(Propano) ↔ Propeno + Hidrógeno	9,71561E+09	51239,182
(n-Butano) ↔ 1-Buteno + Hidrógeno	3,95171E+10	53217,914
(n-Butano) ↔ 2-Buteno + Hidrógeno	4,72160E+10	43336,725
(i-Butano) ↔ i-Buteno + Hidrógeno	4,83630E+10	42276,690

Fuente: Elaboración propia. 2015.

El diagrama de la simulación correspondiente a la unidad de deshidrogenación se puede evidenciar en la Figura N° 11.

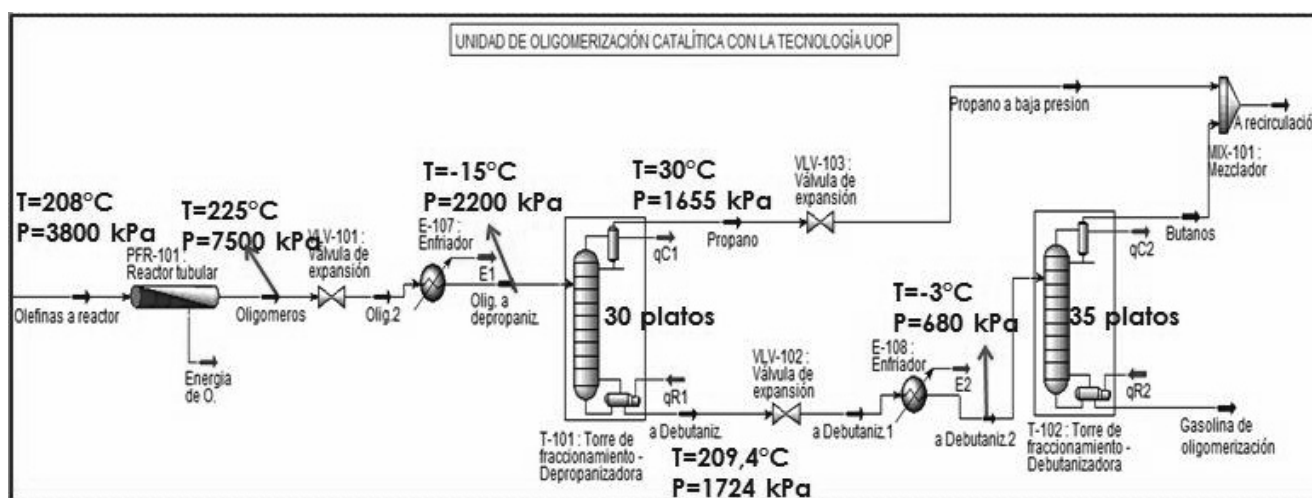


Tabla N° 5. Composición de la carga de olefinas

Compuesto	Fracción molar
C <sub>2</sub>	0,0101
C <sub>3</sub>	0,0313
i-C <sub>4</sub>	0,0115
n-C <sub>4</sub>	0,0001
H <sub>2</sub>	0,0072
C <sub>3</sub> -	0,5857
1-C <sub>4</sub> -	0,0754
2-C <sub>4</sub> -	0,1377
i-C <sub>4</sub> -	0,1410

Fuente: Elaboración propia según Aspen Hysys. 2015.

Figura N° 13. Simulación de la Unidad de Oligomerización Catalítica

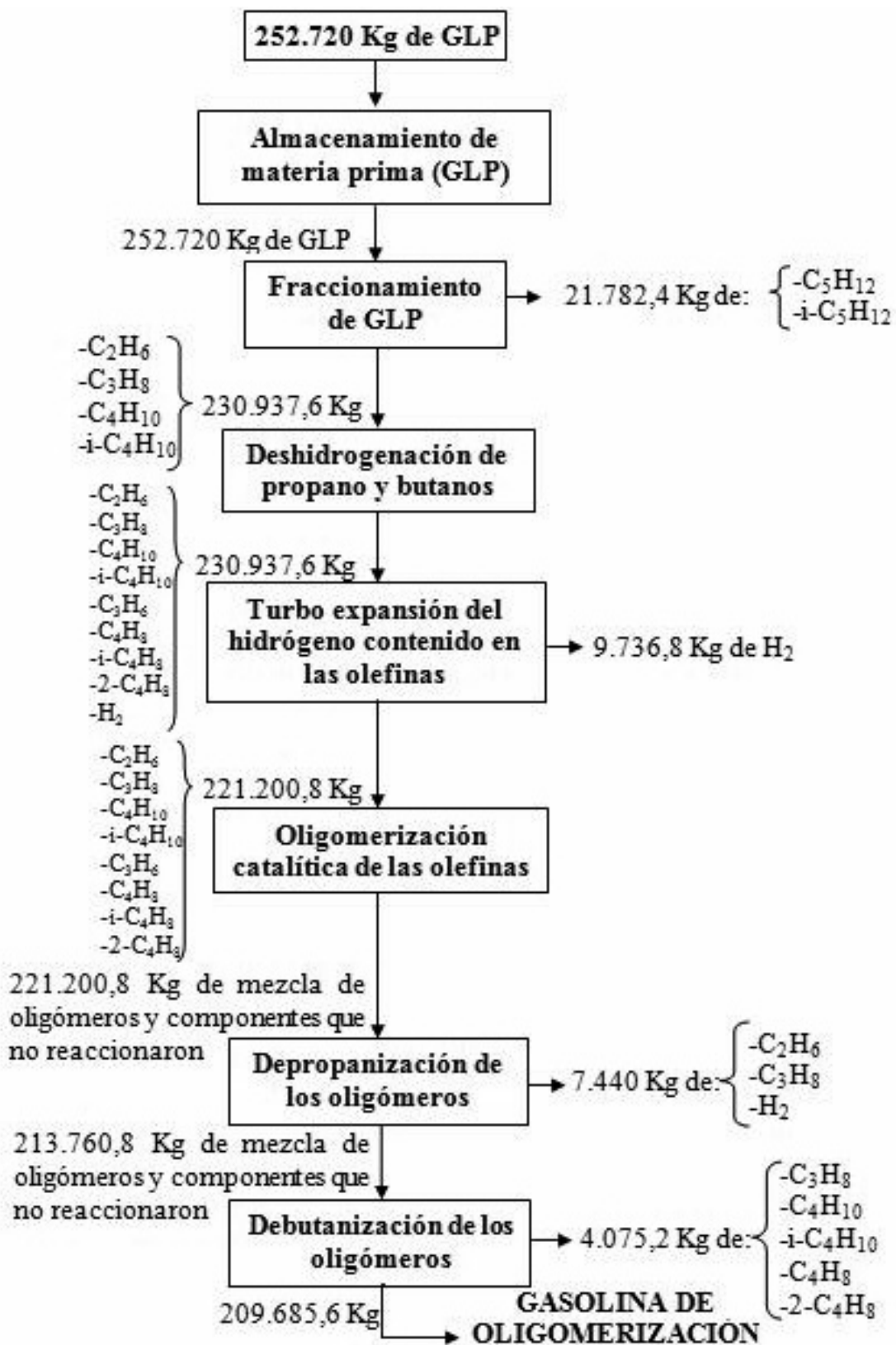


Fuente: Elaboración propia con Aspen Hysys. 2015.

## RESULTADOS

De acuerdo a lo datos que proporciona el simulador, se realizó un balance de masa (Figura N° 14) y una comparación de las propiedades más importantes de la gasolina obtenida con las de la gasolina especial obtenida en la refinería de Cbba (Tabla N° 6).

Figura N° 14. Balance de masa de la Planta de Oligomerización Catalítica



Fuente: Elaboración propia según Aspen Hysys. 2015.

**Tabla N° 6. Comparación de propiedades de la Gasolina obtenida según la simulación y la gasolina especial producida en la Refinería Gualberto Villarroel**

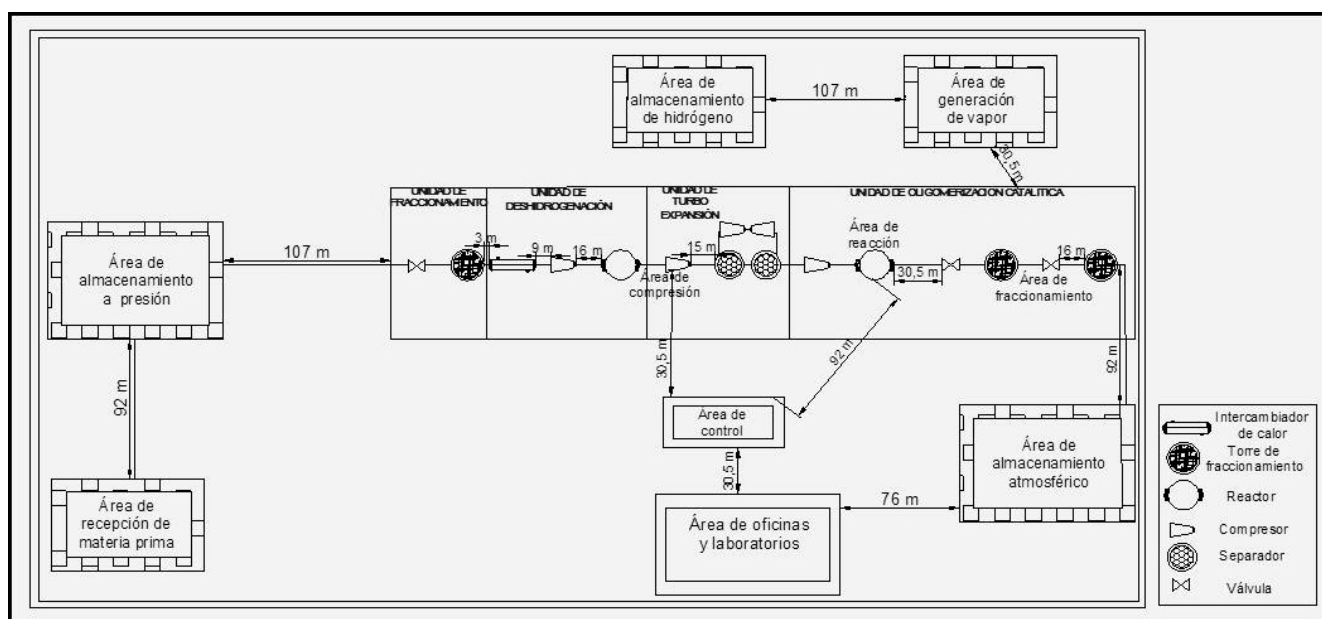
Propiedades	Gasolina de oligomerización obtenida con Hysys	Gasolina especial producida en la refinería Gualberto Villarroel
Gravedad específica a 15,6/15,6°C	0,7016	0,7347
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	555,2	695,6
Tensión de Vapor Reid [KPa] a 37,8°C	35,96	51,02
Peso molecular [g/mol]	94,75	91,16
Viscosidad [cP]	0,3584	0,3915
Watson K	12,30	12,21
Calor específico [J/mol K]	204,1	189,9
Numero de octanaje	91,25	82,2
Destilación Engler a 101,3 KPa		
ASTM-D86 (°C) 10%vol....	65	55
50%vol.....	79	89
90%vol.....	130	148
100%vol.....	163	186

Fuente: Elaboración propia según Aspen Hysys. 2015.

**Layout de la Planta de Oligomerización Catalítica**  
 Con las distancias entre áreas y entre equipos de una planta se realizó el diseño del Layout de la planta. Estas distancias se encuentran disponibles en el conocido "Engineering Data Book" del GPSA (Gas Proces-

sors Suppliers Association), el cual es un recurso autorizado en todo el mundo para obtener información técnica y de diseño relacionados con el procesamiento de gas. (Figura N° 15).

**Figura N° 15. Layout de la planta de Oligomerización Catalítica**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Estimación de Costos de Inversión (CAPEX)**

Para estimar los costos de inversión se utilizó el método del Porcentaje del Costo de Equipo Entregado, según (8). Este método está basado en estudios preliminares sobre costos de plantas de procesos químico-

cos en general y tiene determinados porcentajes sobre el costo total de equipos de la planta, dato que fue obtenido con el simulador Aspen Hysys para el presente caso. La Tabla N° 7 detalla la estimación de inversión de acuerdo al método señalado.

**Tabla N° 7. Estimación del CAPEX**

COSTO TOTAL DE EQUIPOS (Según Aspen Hysys)		57.367.489,15 US\$			
Componente	% Equipo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
		[MM US\$]	[MM US\$]	[MM US\$]	[MM US\$]
<b>COSTOS DIRECTOS</b>					
Instalación - Equipos comprado	47 %	26,96			
Instrumentación y controles	30 %	17,21			
Instalación de tuberías	45 %			25,82	
Instalación eléctrica	11 %				6,31
Edificios (incluyendo servicios)	10 %		5,74		
Instalaciones de servicios	40 %				22,95
Terreno (sí la compra es necesaria)	6 %	3,44			
<b>Total por año</b>		47,62	5,74	25,82	29,26
<b>Total costos directos</b>		<b>108,42</b>			
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
Ingeniería y supervisión	33 %	4,73	6,31	3,79	4,10
Gastos de construcción	22 %	3,16	4,21	2,52	2,73
Gastos legales	4 %	2,29	0,00	0,00	0,00
Honorarios del contratista	20 %	2,87	3,82	2,29	2,49
Contingencia	20 %	0	0	0	11,47
<b>Total por año</b>		13,05	14,34	8,61	20,80
<b>Total costos indirectos</b>		<b>56,79</b>			

Fuente: Elaboración propia según (8). 2015.

**Estimación de Costos de Operación (OPEX)**

Los costos de operación están asociados a los egresos para el mantenimiento de equipos, costos de materia prima, gastos de insumos, sueldos del recurso humano

y otros gastos de funcionamiento necesarios para la producción y funcionamiento de la Planta. La estimación de los costos de operación a partir del primer año de operación se resume en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Estimación del OPEX

DETALLE	COSTO ANUAL [MM US\$]			
	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
<b>Programa de producción</b>	<b>85%</b>	<b>95%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
<b>Materia prima</b>	13,37	14,94	15,73	15,73
<b>Insumos requeridos</b>	21,29	23,01	24,16	24,79
<b>Sueldos y salarios</b>	1,11	1,11	1,11	1,11
<b>Mantenimiento –reparación y otros egresos</b>	14,77	14,94	15,02	15,02
<b>Depreciación</b>	10,53	10,53	10,53	10,53
<b>Interés</b>	10,84	9,58	8,24	6,81
<b>Amortización</b>	18,18	19,43	20,78	22,21
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>90,09</b>	<b>93,54</b>	<b>95,57</b>	<b>96,20</b>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

#### Estimación de Ingresos por Venta de Producto

De acuerdo a la producción anual de gasolina de CO mayor a 90 y el precio de venta para el mercado interno la Tabla N° 9 presenta la estimación de ingresos por venta desde el primer año de operación de la planta.

Tabla N° 9. Estimación de ingresos por venta de producto (Expresado en dólares americanos de diciembre del 2015)

Detalle	Unidad	Producción anual	Precio unitario [US\$]	Ingresos anuales [MM US\$]			
				Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
<b>Programa de producción</b>				<b>85 %</b>	<b>95 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>
<b>Hidrógeno</b>	Kg	3.553.932	15	45,31	50,64	53,31	53,31
<b>Gasolina de alta CO</b>	Bbl	685.190,62	109,42	63,73	71,23	74,98	74,98
<b>TOTAL INGRESOS ANUALES POR VENTA</b>				<b>109,04</b>	<b>121,87</b>	<b>128,29</b>	<b>128,29</b>

Fuente: Elaboración propia. 2015.

#### Flujo Neto de Caja

Con los datos de Capex, Opex y otros gastos a incurrir, el flujo de caja neto y acumulado proyectado para los primeros 15 años de operación de la planta se presenta en la Tabla N° 10. Con estos datos se obtuvo los resultados de los indicadores de rentabilidad (Tabla N° 11).



**Tabla N° 10. Flujo Neto de Caja**  
(Expresado en millones de dólares americanos de diciembre de 2015)

Año	FLUJO NETO CON FINANCIAMIENTO		FLUJO NETO SIN FINANCIAMIENTO	
	Flujo Actual [MM US\$]	Flujo Acumulado [MM US\$]	Flujo Actual [MM US\$]	Flujo Acumulado [MM US\$]
5	12,90	-126,68	39,21	-209,19
6	19,32	-107,36	45,94	-163,25
7	22,14	-85,23	49,09	-114,16
8	21,31	-63,92	48,32	-65,53
9	21,39	-42,53	49,09	-16,44
10	20,98	-21,54	49,09	32,66
11	20,07	-1,47	48,32	81,28
12	49,09	47,63	49,09	130,37
13	47,30	94,93	47,30	171,67
14	46,83	141,76	46,83	224,50
15	46,50	188,26	46,50	271,00
16	46,50	234,76	46,50	317,50
17	46,03	280,78	46,03	363,53
18	46,50	327,28	46,50	410,03
19	57,03	384,31	57,03	467,05

Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Tabla N° 11. Indicadores de rentabilidad**

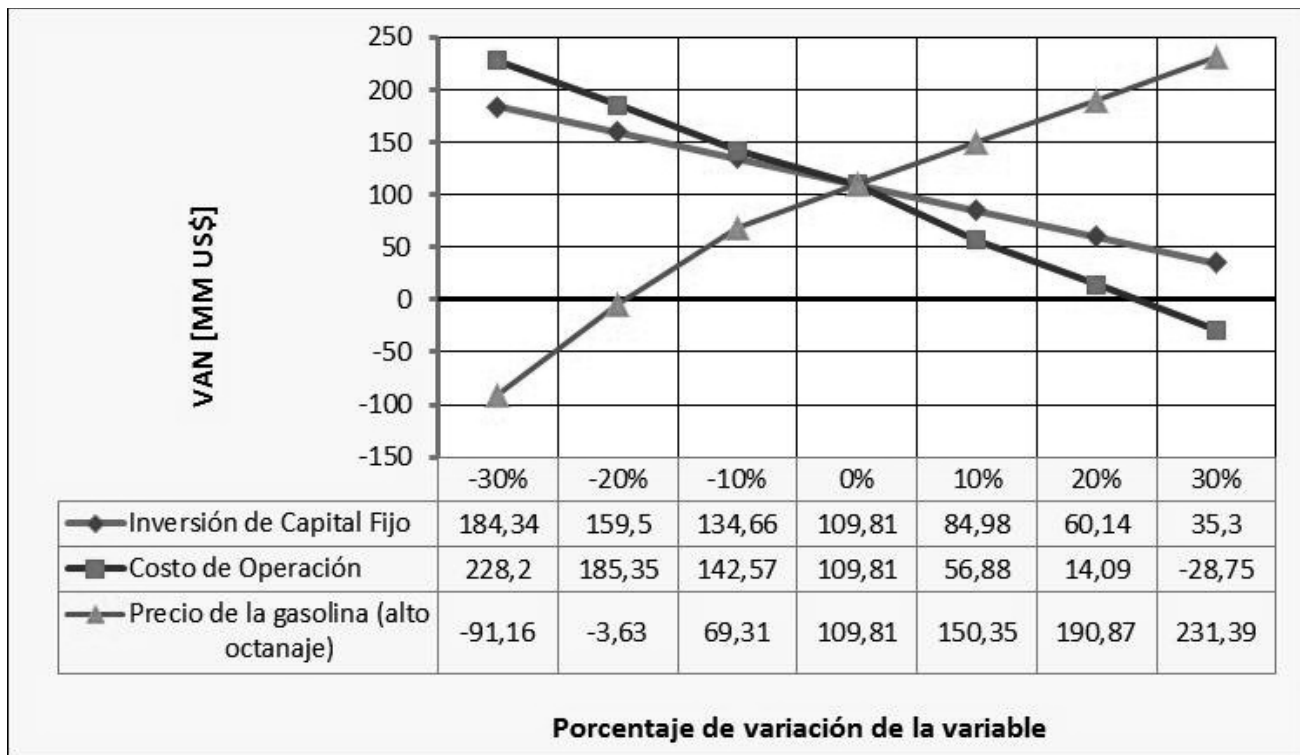
INDICADORES	RESULTADO
<b>VAN (10 %) con financiamiento</b>	86,09 <b>MM US\$</b>
<b>TIR con financiamiento</b>	17,30 %
<b>B/C con financiamiento</b>	0,71
<b>Pay Back</b>	7,15 años
<b>VAN (10 %) sin financiamiento</b>	109,81 <b>MM US\$</b>
<b>TIR sin financiamiento</b>	17,01 %
<b>B/C sin financiamiento</b>	1,20
<b>Pay Back</b>	5,33 años

Fuente: Elaboración propia. 2015.

**Análisis de Sensibilidad**

Para tener un VAN equivalente a 0 y una TIR del 10% se simula una situación donde el proyecto es indiferente a la obtención de rentabilidad o no. (Figura N°16).

**Figura N° 16. Análisis de sensibilidad**



Fuente: Elaboración propia. 2015.

Tabla N° 12. Evaluación de impacto ambiental con el Método Leopold

Acciones del Proyecto		Factores ambientales	MEDIO FÍSICO			MEDIO BIÓTICO		MEDIO SOCIO-ECON.	SÍNTESIS			
			Agua	Aire	Paisaje	Flora	Fauna	Economía	Número de interacción		Σ	
									+	-	+	-
FASE DE CONSTRUCCIÓN	Transporte y montaje de los equipos		-6/7				-7/9	-5/4		3		18/20
	Instalación y operación de campamentos	-8/9		-6/7		-6/7	-5/6		4		25/29	
	Obras de excavación de zanjas		-5/4	-6/5	-7/8	-8/9			4		26/26	
	Manejo de residuos líquidos y sólidos	-7/8		-6/5			-7/8		3		20/21	
FASE DE OPERACIÓN	Operación general de la planta	-7/8	-8/9			-6/5	-6/7		4		27/29	
	Operación de campamentos	-7/8		-6/5					2		13/13	
	Transporte de producto terminado		-6/4						1		6/4	
EL PROYECTO EN GENERAL							+9/10	1		9/10		
SÍNTESIS	Número de interacciones	+					1	1				
		-	3	4	4	1	4	4		21		
	Σ	+						9/10			9/10	
		-	29/33	25/24	24/22	7/8	27/30	23/25				135/142
PROMEDIO DEL PROYECTO										+	9/10	
										-	6,4/6,8	

Fuente: Elaboración propia según (9). 2015.

Tabla N° 13. Medidas de mitigación de los impactos ambientales

FACTOR AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDA DE MITIGACIÓN
<b>AIRE</b>	<p>a. Contaminación por altos ruidos generados.</p> <p>b. Contaminación por emisiones de material particulado.</p> <p>c. Contaminación por emisión de gases.</p>	<p>a. Instalación de mofles, silenciadores, barreras.</p> <p>b. Evitar el levantamiento de polvo, humedeciendo la zona, compactando y estabilizando el área de tránsito, además reduciendo velocidades de tránsito.</p> <p>c. Para evitar las emisiones de gases tóxicos por los medios de transporte y diferente maquinaria, se deberá contar con las revisiones técnicas periódicas, para operar en buenas condiciones, y así emitir gases de acuerdo a parámetros establecidos.</p>
<b>AGUA</b>	a. Contaminación del agua por desechos líquidos y sólidos, alterando su calidad.	<p>a. Para los desechos líquidos: separación de vertidos en diferentes fuentes para su posterior tratamiento, prohibiendo el desecho en los ríos; prohibir lavar la maquinaria y equipos sobre las corrientes de agua.</p> <p>Para los desechos sólidos: implementación de un plan de manejo de desechos sólidos, que incluya la clasificación de desechos orgánicos, inorgánicos, reciclables y no reciclables, para su posterior tratamiento, prohibiendo el desecho en los ríos.</p>
<b>PAISAJE</b>	a. Deterioro del paisaje por remoción de vegetación y por desechos sólidos.	a. Implementación de métodos de ordenación y aprovechamiento racional de las coberturas vegetales.
<b>FLORA</b>	a. Reducción de áreas boscosas naturales por remoción de vegetación, poniendo en peligro de extinción algunas especies arbóreas.	a. Planificación de programas de recuperación o establecimiento de nuevas zonas de vegetación natural (reforestación, enriquecimiento florístico); Protección y vigilancia contra incendios.
<b>FAUNA</b>	a. Migración de especies faunísticas por los altos ruidos generados y por remoción de vegetación.	a. Instalación de mofles, silenciadores, barreras; implementación de señalización; Programas de restitución de zonas boscosas, creando zonas especiales para la preservación de la fauna; Protección contra incendios; Prohibición de caza y pesca.
<b>SOCIO-ECONOMÍA</b>	<p>a. Problemas de salubridad a comunidades cercanas</p> <p>b. Sobrecarga en los servicios públicos.</p> <p>c. Conflictos entre población residente y el inmigrante.</p>	<p>a. Impulso de campañas de salud y educación a comunidades cercanas; Indemnizaciones.</p> <p>b. Restitución, mejora o construcción de infraestructura recreativa, de uso de tiempo libre, hospitalario, educacional, etc.</p> <p>c. Programas de información, consulta y concertación sobre el proyecto y el plan de manejo; Programas de capacitación de nuevas oportunidades; Campañas de divulgación y explicación del proyecto.</p>

Fuente: Elaboración propia según (9). 2015.

## DISCUSIÓN

La producción de gasolina en Bolivia a través de las diferentes refinarias, ha ascendido notablemente en los últimos años. Sin embargo, la producción interna de este combustible no es suficiente para el abastecimiento del mercado interno.

La proyección de la demanda y oferta de la gasolina en Bolivia tiene por objeto analizar la evolución de estas dos variables en los próximos 10 años, así demostrar que Bolivia está destinada a seguir importando para el abastecimiento interno de uno de los carburantes más importantes como es la gasolina.

De acuerdo al análisis de los factores considerados, el departamento de Santa Cruz es el más adecuado para la macro localización del proyecto, ya que presenta los mayores porcentajes de participación en el mercado de la gasolina a nivel nacional y tiene el mayor promedio de producción de materia prima (GLP). Actualmente, el departamento de Santa Cruz es activo en la industria petrolera, por esta razón, lo ideal es instalar la planta cerca de otra que también se dedique a esta actividad, de esta manera incurrir en menores gastos y no tener mayor inconveniente con ninguno de los factores a considerar.

Para el diseño de la planta se ha seleccionado el proceso industrial U.O.P., ya que este proceso se ha desarrollado y probado y es perteneciente a una de las empresas multinacionales actualmente más importantes de la industria petrolera, denominado U.O.P. LLC, anteriormente conocido como Universal Oil Products, ésta es una empresa con gran experiencia por su desarrollo y distribución de tecnología, para los sectores del refino de petróleo, procesamiento de gas, petroquímica y producción.

El 70% del GLP de la nueva planta de separación de líquidos Rio Grande es almacenada en el tanque V-100 que equivale a 252,72 TM/día. La unidad de fraccionamiento tiene como finalidad separar los compuestos ligeros (etano, propano y butanos) de los pentanos contenidos en el GLP para evitar futuros problemas en el proceso de oligomerización, esto mediante la torre de fraccionamiento T-100.

La Unidad de Deshidrogenación básicamente se ocupa de transformar los alcanos (propano-butanos) en olefinas mediante un reactor adiabático, donde se producen reacciones endotérmicas en equilibrio en presencia del catalizador metálico Pt/Sn/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

La Unidad de Turbo Expansión tiene como finalidad separar el hidrogeno contenido en las olefinas, traba-

jando a presiones elevadas y bajas temperaturas que provoca la condensación de los componentes más pesados que en este caso son las olefinas y la formación de un vapor saturado (compuesto principalmente por hidrogeno) los cuales son separados en dos etapas de separación.

La Unidad de Oligomerización Catalítica se ocupa de producir la gasolina de alto índice octánico mediante un reactor tubular, donde se producen reacciones exotérmicas en equilibrio en presencia del catalizador Ácido Fosfórico Sólido, tipo granulado, en soporte de Kieselguhr. Para la simulación del reactor de oligomerización se realizó una serie de cálculos de donde se obtuvo datos del factor pre-exponencial y la Energía de Activación.

La gasolina obtenida está compuesta en gran parte por olefinas, compuestos que son altamente reactivos que pueden pasar a formar moléculas complejas polimerizadas (gomas) y condensados que no vaporizan en el sistema de combustible, por esta razón se selecciona el grupo de aditivos antioxidantes o inhibidores de gomias, pues estos son inhibidores de las reacciones derivadas de la inestabilidad de las naftas, impidiendo o retardando las reacciones de oxidación y polimerización causantes de las gomias. Generalmente, se usan en concentraciones que no superan el 0,01% en peso, resultando muy eficientes en la desactivación de las partículas reactivas de las reacciones (10).

De acuerdo a la simulación de la planta y a partir de la materia prima disponible considerado se obtendrá 1.874 barriles de gasolina diariamente, esto equivale a una producción anual de 684.010 barriles e incluyendo el volumen anual de aditivo utilizado, la producción final (gasolina de CO mayor a 90) es de 685.190,62 barriles por año.

## CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis de oferta y demanda de gasolina para el periodo (2008-2014), y las correspondientes proyecciones, se determina que la gasolina (especial y premium) producida en Bolivia tendrá una demanda insatisfecha en el país, de más de 400 millones de barriles de gasolina aproximadamente para el año 2021.
- La Planta de Oligomerización Catalítica, según los factores de localización analizados, estará ubicada en el departamento de Santa Cruz, provincia Cordillera, municipio Cabezas, entre las coordenadas UTM, 18°10'15" S y 62°90'43" SE, próximo a la Planta de Separación de Líquidos Rio Grande.

- El flujo de materia prima para el diseño de la planta, fue considerado como el 70% del GLP, producido en la Planta de Separación de Líquidos Rio Grande, ya que el 30% está destinado a exportación, asumiendo que actualmente este complejo ha superado su capacidad de producción nominal que es de 361 TM/día, con esta consideración el total de materia prima disponible es de 252,7 TM/día.

- El proyecto propone tres unidades extras a la de Oligomerización Catalítica, por la materia prima seleccionada; esto para obtener las olefinas (propeno y butenos) que son la carga de alimentación para el proceso estudiado.

- Con el estudio económico-financiero se determinó que el proyecto es factible en el sentido financiero, pero con algo de riesgo, no obstante se demostró la factibilidad económica, considerándose rentable con un VAN de 109,81 millones de dólares, una TIR de 17,01% y un tiempo de recuperación del capital de 5 años y 3 meses aproximadamente, lo cual es razonable por el alto costo de inversión.

- Se determina que el proyecto es factible en el sentido económico-social, ya que la implementación del proyecto traerá no solo el desarrollo de una nueva tecnología en el país, sino también generará nuevas fuentes de empleos directos e indirectos, además de diversos beneficios económicos-sociales para el país y para el entorno de la localización del proyecto por concepto de regalías y participaciones.

#### AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres Marcos Rodriguez y Maria Josefina Condori por ser mis mayores ejemplos de lucha con rigor, contra los obstáculos de la vida y por su inmenso amor. A mis hermanos Noemi, Boris y Cristian por su apoyo y palabras de aliento.

A mi tutora Ing. Gabriela Chirobocea, le agradezco infinitamente por creer en mí, por motivarme y alentarme para continuar con los estudios y ser cada día mejor.

Finalmente, agradezco a mis educadores del colegio Santa María Magdalena Postel y del departamento de Petróleo, Gas Y Energías de UNIVALLE, quienes me proporcionaron las herramientas y conocimientos necesarios para cumplir mis metas académicas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) RAMALLO, A. PREPARACIÓN, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión; Editorial Latinas; 2009.

(2) Anuario estadístico de producción, transporte, refinación, almacenaje y comercialización de hidrocarburos, correspondientes a las gestiones 2009, 2010, 2011 y 2012, publicado por el Ministerio de Hidrocarburos y Energía.

(3) Boletín estadístico, publicado por Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos, correspondientes a las gestiones 2011, 2012, 2013, 2014.

(4) Cifras del comercio exterior boliviano, correspondientes a las gestiones 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, publicado por Instituto Boliviano de Comercio Exterior junto con el Instituto Nacional de Estadística.

(5) SAPAG, N. Y SAPAG, R. Preparación y evaluación de proyectos. México; MCGRAW-HILL; 2003.

(6) Proyecto de Plan Municipal de Ordenamiento Territorial Cabezas (MASRENA GTZ/IP). en [es.slideshare.net/doctora\\_edilicia/070703-cabezas](https://es.slideshare.net/doctora_edilicia/070703-cabezas) (23 de agosto de 2015).

(7) WUITHIER, P. Refino de Petróleo y Tratamiento Químico. Tomo II; Madrid; Ediciones Cepsa S.A.; 1971.

(8) PETER, M., & TIMMERHAUS, K. PLANT Design and Economics for Chemical Engineers. 5a ed. Estados Unidos; McGRAW-HILL; 2003.

(9) ARBOLEDA, J. Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Colombia; Medellín; 2008.

(10) CERUTTI, A., (2002). Refinación del Petróleo. (Tomo II). Argentina: IAPG.

**Fuentes de financiamiento:** Esta investigación fue financiada con fondos de los autores.

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no tiene ningún conflicto de interés.

Copyright (c) 2016 Liliana Carina Rodríguez Condori; Gabriela Chirobocea de Rivera



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

**Atribución:** Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumendelicencia](#) - [Textocompletodelalicencia](#)