

**ESTUDIO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE GAS NATURAL
Y SUS VENTAJAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA**

Presenta:

OSCAR FABIAN ORTEGA ALMEIDA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS**

BUCARAMANGA, SANTANDER

2017

**ESTUDIO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE GAS NATURAL
Y SUS VENTAJAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA**

OSCAR FABIAN ORTEGA ALMEIDA

**Trabajo de Grado para optar al título de
Especialista en Ingeniería del Gas**

DIRECTOR:

Julio Cesar Pérez Angulo

Docente Escuela de Ingeniería de Petróleos, UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS**

BUCARAMANGA, SANTANDER

2017

OSCAR FABIÁN ORTEGA ALMEIDA

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. PRINCIPIOS DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL	15
1.1. IMPORTANCIA DEL GAS NATURAL EN LA ACTUALIDAD	15
1.2. DEFINICIÓN REFINACIÓN DEL GAS NATURAL	18
1.3. VENTAJAS DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL	19
1.4. PARÁMETROS DE MAYOR IMPORTANCIA	20
1.5. PROCESO DE REFINACIÓN EN COLOMBIA	22
2. PETROQUÍMICA Y SUS PRODUCTOS	24
3. REFINACIÓN DEL GAS NATURAL	61
3.1. USO DE LA ENERGÍA EN LA REFINACIÓN.....	61
3.2. ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES.....	62
3.3. GAS QUEMADO EN TEA Y SU APROVECHAMIENTO	62
3.4. ETAPAS DEL DESARROLLO PETROQUÍMICO.....	63
3.5. MÉTODOS DE REFINACIÓN.....	63
3.5.1. Método de absorción.....	65
3.5.2. Métodos de adsorción	66
3.5.3. Método de membranas selectivas de filtración no porosas.....	67
3.5.4. Separación criogénica.....	67
3.5.5. Fraccionamiento.....	68
3.5.6. Steam reforming.....	68
3.6. CASO DE ESTUDIO: OBTENCIÓN DE OLEFINAS	69
3.7. RESUMEN DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE GAS NATURAL	70
4. IMPORTANCIA DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA	71
4.1. RESERVAS DE GAS NATURAL EN COLOMBIA.....	71
4.2. PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA.....	72

4.3. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN	74
4.4. ESCENARIOS DE OFERTA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA	75
4.5. ESCENARIOS DE DEMANDA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA (SEGÚN SECTOR).....	76
4.6. IMPORTANCIA DE INCLUSIÓN DEL TEMA EN COLOMBIA	77
5. CONCLUSIONES.....	80
6. RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. COMPONENTES QUE SE PUEDEN ENCONTRAR EN YACIMIENTO ASOCIADOS AL GAS NATURAL	17
--	----

LISTA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. VARIEDAD DE USOS DEL GAS NATURAL EN LA SOCIEDAD	15
GRÁFICA 2. ESQUEMA GLOBAL DE PROCESO DE REFINACIÓN DEL GAS NATURAL.....	18
GRÁFICA 3. DERIVADOS DEL ACETALDEHÍDO	25
GRÁFICA 4. DERIVADOS DEL ACETATO DE BUTILO.....	25
GRÁFICA 5. DERIVADOS DEL ACETATO DE ETILO.....	26
GRÁFICA 6. DERIVADOS DEL ACETATO DE VINILO.....	27
GRÁFICA 7. DERIVADOS DEL ÁCIDO ACÉTICO	28
GRÁFICA 8. DERIVADOS DEL ÁCIDO NÍTRICO	29
GRÁFICA 9. DERIVADOS DEL ÁCIDO SULFÚRICO.....	30
GRÁFICA 10. DERIVADOS DEL ACRILONITRILLO	31
GRÁFICA 11. DERIVADOS DE LA ACROLEÍNA.....	32
GRÁFICA 12. DERIVADOS DEL ALCOHOL ETÍLICO.....	33
GRÁFICA 13. DERIVADOS DEL ALCOHOL ISOPROPÍLICO	33
GRÁFICA 14. DERIVADOS DEL AMONIACO	34
GRÁFICA 15. DERIVADOS DEL ANHÍDRIDO ACÉTICO.....	35
GRÁFICA 16. DERIVADOS DEL AZUFRE	36
GRÁFICA 17. DERIVADOS DEL BENCENO.....	37
GRÁFICA 18. DERIVADOS DEL CLOROBENCENO.....	39
GRÁFICA 19. DERIVADOS DEL CLORURO DE POLIVINILO	40
GRÁFICA 20. DERIVADOS DEL DIÓXIDO DE CARBONO	42
GRÁFICA 21. DERIVADOS DEL ETILENGLICOL.....	44
GRÁFICA 22. DERIVADOS DEL ETILENO.....	45
GRÁFICA 23. DERIVADOS DEL GAS DE SÍNTESIS	46
GRÁFICA 24. DERIVADOS DEL METANO.....	48
GRÁFICA 25. DERIVADOS DEL PENTANO	51
GRÁFICA 26. DERIVADOS DEL POLIETILENO	53
GRÁFICA 27. DERIVADOS DEL PROPANO.....	54
GRÁFICA 28. DERIVADOS DEL PROPILENGLICOL	54
GRÁFICA 29. DERIVADOS DEL TOLUENO	56
GRÁFICA 30. DERIVADOS DE LA UREA	57
GRÁFICA 31. PRODUCTOS DERIVADOS DEL GLP	57
GRÁFICA 32. PRODUCTOS DERIVADOS DEL GAS NATURAL	58
GRÁFICA 33. PRODUCTOS INTERMEDIOS OBTENIDOS DE GAS NATURAL	59
GRÁFICA 34. ALCOHOLES SUPERIORES OBTENIDOS DE GAS NATURAL	60
GRÁFICA 35. DESTILACIÓN FRACCIONADA DE GASES DE DESINTEGRADORA	70
GRÁFICA 36. RESERVAS PROBADAS DE GAS NATURAL REMANENTES EN COLOMBIA.....	71
GRÁFICA 37. PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL EN CUENCA LLANOS ORIENTALES.....	72
GRÁFICA 38. PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL EN CUENCA GUAJIRA.....	73

GRÁFICA 39. EVOLUCIÓN DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN PROMEDIO (CON APORTE DE PLANTA DE REGASIFICACIÓN)	74
GRÁFICA 40. EVOLUCIÓN DE POTENCIAL DE PRODUCCIÓN PROMEDIO (SIN APORTE DE PLANTA DE REGASIFICACIÓN)	75

GLOSARIO

AVIGÁS: gasolina de alto octanaje diseñada específicamente para uso en motores de aviación alternativos

ACETILACIÓN: Reacción en la que se introduce un grupo acetilo en un compuesto químico

AGENTES TENSOACTIVOS: Sustancias que influyen por medio de tensión superficial en superficie de contacto entre dos fases

CARBONILACIÓN: Proceso o reacción química en donde la molécula de monóxido de carbono, se adiciona sobre una molécula de un sustrato orgánico

CERAS PARAFÍNICAS: compuestos sólidos constituidos por hidrocarburos de alto peso molecular

COMBUSTIÓN: reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañado del desprendimiento de energía y se manifiesta por incandescencia o llama

COMBUSTÓLEO: conocido como fuel-oil, es una fracción de petróleo que se obtiene como residuo en la destilación fraccionada

CRISTALIZACIÓN: Proceso químico utilizado para purificar una sustancia sólida, en el que a partir de un gas, líquido o disolución, los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina

DESTILADOS MEDIOS: entre ellos, diesel, queroseno

DISOLVENTES ALIFÁTICOS: productos de la destilación de naftas o gasolina natural, los cuales poseen alto poder para disolver compuestos apolares y resinas

GAS ÁCIDO: cuando el gas natural se encuentra con presencia de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono; contrario al gas dulce

GAS CONTAMINANTE: entre ellos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre

GAS HUMEDO: cuando el gas natural se encuentra con presencia de hidrocarburos pesados

HIDRATOS DE METANO: acumulaciones cristalinas formadas por gas natural y agua, a condiciones de alta presión y baja temperatura forma un sólido similar al hielo

HIDROCARBUROS AROMÁTICOS: hidrocarburos derivados del benceno

HIDROCARBUROS LIGEROS: considerados los hidrocarburos entre C1 a C6+

HIDROCARBUROS PESADOS: considerados los hidrocarburos mayores a C7

HIDRÓLISIS: Reacción química entre una molécula de agua y otra molécula. La molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química

ISOMERIZACIÓN: Proceso químico en el que una molécula se transforma en otra que posee mismos átomos pero dispuestos de forma diferente

JET-A: combustible de turbina de aviación

POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD: polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno, entre ellos el polipropileno y los polietilenos

POLIMERIZACIÓN: Proceso químico en el que los reactivos se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso o una cadena lineal o una macromolécula tridimensional

QUEROSENO: empleado como combustible en el movimiento de turbinas y en motores de aviones reactores. Está compuesto de hidrocarburos y se obtiene por destilación del petróleo después de la fracción de la gasolina y antes de la del gasóleo

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE GAS NATURAL Y SUS VENTAJAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN COLOMBIA

AUTOR: OSCAR FABIAN ORTEGA ALMEIDA*

Palabras claves: Refinación de Gas Natural, Gas Asociado.

DESCRIPCIÓN:

El presente estudio busca analizar conceptualmente el proceso de refinación de gas natural y presentar las ventajas para su implementación en Colombia. Se abordará el tema partiendo de su definición, presentando las ventajas que tiene el proceso y se indicarán los diferentes contaminantes que generalmente se encuentran con este recurso energético. De otro modo, se presentará los diferentes productos petroquímicos derivados que pueden obtenerse a partir del gas natural y, se señalarán los métodos más importantes para llevar a cabo la refinación.

También, se mencionará a nivel general, las reservas y producción actual en nuestro país, así como la demanda y oferta, las cuales permitirán viabilizar la situación actual y futura de Colombia.

El presente estudio, pretende que se investigue posteriormente y a mayor profundidad el proceso de refinación de gas natural incorporando casos de estudio que incluyan los gases más representativos en el país.

Con base en la situación actual, en donde la mayoría de gas quemado en tea es gas asociado, el proceso de refinación de gas natural es una de las opciones de aprovechamiento y de uso racional y eficiente de un recurso que actualmente no está siendo utilizado, ya que presenta ventajas y beneficios de carácter económico y medioambiental, los cuales permitirán que diferentes entes asociados a la cadena del gas natural decidan implementar y abordar el tema con mayor investigación.

**Trabajo de grado*

***Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Director: Julio Cesar Pérez Angulo, Docente.*

ABSTRACT

TITLE: CONCEPTUAL STUDY OF NATURAL GAS REFINING PROCESS AND ITS ADVANTAGES FOR IMPLEMENTATION IN COLOMBIA

AUTHOR: OSCAR FABIAN ORTEGA ALMEIDA*

Key Words: Refining of Natural Gas, Associated Gas

DESCRIPTION:

The present study seeks to conceptually analyze the natural gas refining process and present the advantages for its implementation in Colombia. The issue will be addressed based on its definition, presenting the advantages of the process and indicate the different pollutants that are generally found with this energy resource. Otherwise, the different petrochemical derivative products that can be obtained from natural gas will be presented and the most important methods to carry out the refining will be indicated.

Also, it will be mentioned in general, the current reserves and production in our country, as well as the demand and supply, which will allow to make feasible the current and future situation of Colombia.

The present study aims to investigate the natural gas refining process incorporating case studies that include the most representative gases in the country.

Based on the current situation, where the majority of gas burned in tea is associated gas, the process of refining natural gas is one of the options for the rational use of a resource that is not currently being used, as it presents economic and environmental benefits, which will allow different entities associated with the natural gas chain to decide to implement and address the issue with more research.

.

**Bachelor Thesis*

*** Faculty of Physicochemical Engineering, Petroleum Engineering. Director: Julio Cesar Pérez Angulo, Professor.*

INTRODUCCIÓN

Actualmente, se tiene que a nivel nacional la demanda de gas natural se encuentra en un promedio de 1100 GBTUD de gas natural utilizados principalmente en actividades domésticas, comerciales, petroquímicas, industriales, transporte y centrales termoeléctricas. La necesidad de hoy en día, es encontrar un recurso energético que además de ser eficiente, también sea limpio, amigable con el medio ambiente y garantice una combustión completa que permita el buen funcionamiento de equipos que operen con gas natural.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos alcanos principalmente de metano, etano, propano, butano y otros en menor proporción como algunos componentes líquidos como el pentano, además puede contener agua, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, helio, nitrógeno, entre otros, que al pasar por etapas de procesamiento y tratamiento son retirados pero no significa que todos ellos sean productos de desperdicio. A pesar de que el gas natural debe llevarse a condiciones RUT (para Colombia) y en lo posible, obtener casi metano puro para que sea lo más limpio y amigable con el medio ambiente, se desconoce el proceso de refinación, el cual debe ser implementado en el país, ya que la mayoría de gas encontrado en su etapa de exploración y explotación viene como gas asociado y por lo tanto, cuenta con componentes anteriormente mencionados, los cuales al ser separados pueden traer beneficios económicos y ambientales. Además, actualmente, gran cantidad de gas que es enviado a quema en tea es un gas asociado que cuenta con estos componentes, los cuales son productos secundarios valiosos que pueden llegar a ser vendidos a un alto costo y tienen gran variedad de usos.

En el presente documento, se realiza un estudio conceptual del proceso de refinación de gas natural y se fundamentan las ventajas para la implementación en Colombia, también se determina su relevancia e impacto a nivel industrial. Se identifican los principales productos petroquímicos obtenidos a través de las tecnologías de refinación para el gas natural en Colombia. Finalmente, se analiza y se sustenta la importancia de aplicar el proceso de refinación de gas natural en Colombia, emitiendo razones y ventajas de este proceso. Este documento presenta información útil para todos los entes asociados a la cadena de gas natural desde exploración hasta comercialización.

1. PRINCIPIOS DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL

Este capítulo menciona la importancia de la refinación del gas natural, las principales aplicaciones del gas natural (mayormente metano) en la sociedad y se define el término de refinación de gas natural, presentando algunas de sus ventajas y parámetros de mayor importancia.

1.1. IMPORTANCIA DEL GAS NATURAL EN LA ACTUALIDAD

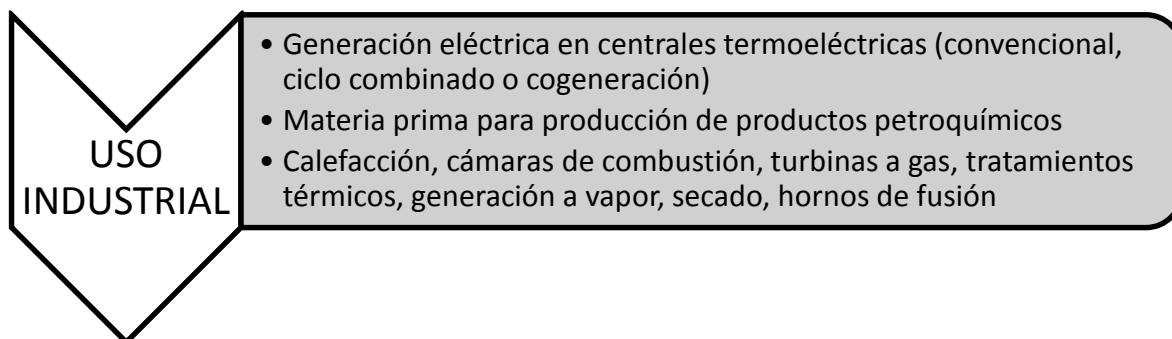
Hoy en día, se evidencian de manera frecuente, problemas relacionados con escasez energética en el ámbito nacional y mundial, ya que existe una gran dependencia hacia los combustibles fósiles como fuente primaria para la generación de energía.

Cabe tener en cuenta que la demanda del consumo de energía en la sociedad va aumentando y por ende, obliga a una creciente y constante búsqueda de petróleo y gas natural pero se requiere garantizar una sustentabilidad energética en la que existan menores impactos medioambientales, que disminuyan la afectación a la sociedad y a la diversidad biológica.

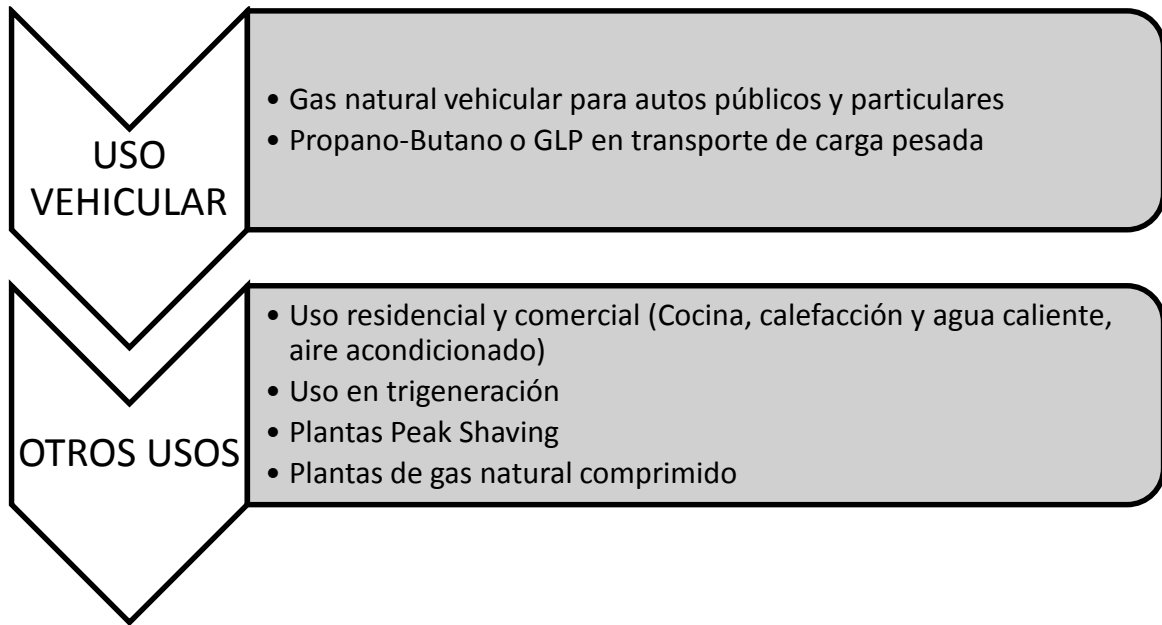
El gas natural es una fuente de energía no renovable que se encuentra en yacimientos ya sea, asociada o no al petróleo, también puede encontrarse en depósitos de carbón. Está compuesto por una mezcla de gases ligeros y tiene variedad de usos en aplicaciones industriales, residenciales, comerciales, transporte y generación eléctrica.

Gráfica 1, descripción de los diferentes usos que se puede tener con el gas natural.

Gráfica 1. Variedad de usos del gas natural en la sociedad



Gráfica 1. Variedad de usos del gas natural en la sociedad (continuación)



Fuente: BARBERII Efraín [1].

El gas natural posee ventajas frente a otros recursos energéticos, al considerarse este como una fuente de energía limpia (comparado con otras de origen fósil). Además presenta bajo costo, fácil manejo, alta eficiencia en la combustión, amplia gama de aplicaciones y, su poder calorífico hace que sea el subproducto más importante en la explotación petrolera.

El gas natural, se considera un gran potencial como materia prima en la industria petroquímica, ya que es un combustible eficaz y que se quema de manera limpia, su generación de gases contaminantes (como NO_x y SO_x) es menor que el petróleo y derivados del mismo, además de la extensa lista de productos derivados que se puede obtener de él.

Este gas, se encuentra constituido principalmente por metano (entre un 70% a 95% del total de la mezcla). Además tiene hidrocarburos ligeros e impurezas (vapor de agua, sulfuro de hierro, óxido de hierro, sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono) las cuales son indeseables y pueden formar espumas que hacen que el producto final se encuentre fuera de especificaciones.

Contiene hidrocarburos livianos como etano, propano, butano y en menor cantidad algunos hidrocarburos pesados, también se encuentra gases inertes como nitrógeno, argón, oxígeno, hidrógeno y helio. Y, aunque los componentes deseados

para usar el gas natural como combustible son el metano y el etano, no quiere decir que los demás productos sean considerados desechos.

En la **tabla 1**, se muestran los diferentes componentes que se pueden llegar a encontrar asociados al gas natural en yacimientos de petróleo, cabe anotar que algunos de los porcentajes varían según el tipo de yacimiento en el que se encuentre el gas natural.

Tabla 1. Componentes que se pueden encontrar en yacimiento asociados al gas natural

CLASE	COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	VARIACIÓN DE PORCENTAJE MOLECULAR	ESTADO
Hidrocarburos	Metano	CH ₄	55-98	Gas
	Etano	C ₂ H ₆	0,1-20	Gas
	Propano	C ₃ H ₈	0,05-12	Gas
	i-Butano	i-C ₄ H ₁₀	0,02-2	Gas
	n-Butano	n-C ₄ H ₁₀	0,05-3	Gas
	i-Pentano	i-C ₅ H ₁₂	0,01-0,8	Líquido
	n-Pentano	n-C ₅ H ₁₂	0,01-0,8	Líquido
	Ciclo-pentano	C ₅ H ₁₀	0,01-0,5	Líquido
	Hexanos y mayores	-	0,01-0,5	Líquido
Gases inertes	Nitrógeno	N ₂	0,1-0,5	Gas
	Helio	He	Trazas-4	Gas
	Argón	Ar		
	Hidrógeno	H ₂		
	Oxígeno	O ₂	0,09-0,3	Gas
Gases ácidos	Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	Trazas-28	Gas
	Dióxido de carbono	CO ₂	0,2-30	Gas
Compuestos de azufre	Mercaptanos	R-SH		
	Sulfuros	R-S-R		
	Disulfuros	R-S-S-R		
Vapor de Agua	-	H ₂ O		
Líquidos en Suspensión	Agua libre	-		
Sólidos	Sulfuro de hierro	FeS		

	Arena y otros sedimentos	-		
--	--------------------------	---	--	--

**Los porcentajes varían según tipo de yacimiento.*

Fuente: BARBERII Efraín [1].

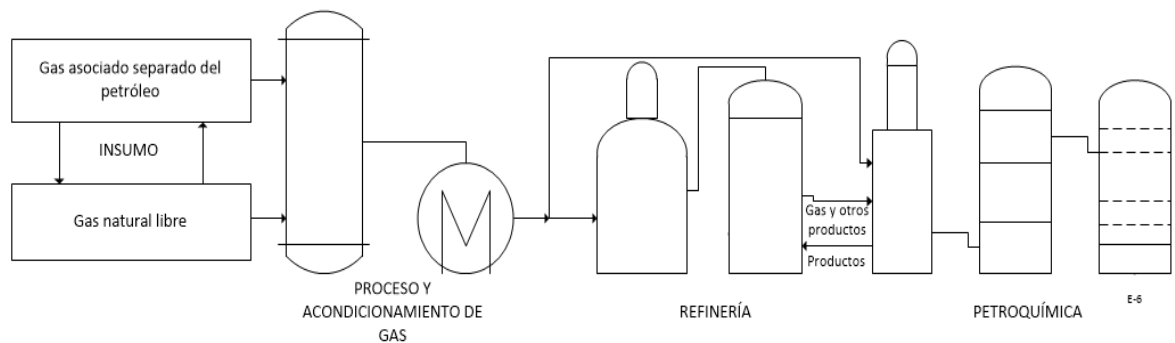
1.2. DEFINICIÓN REFINACIÓN DEL GAS NATURAL

La refinación es una etapa instrumental de la cadena de valor del gas natural y se define como el conjunto de operaciones unitarias físicas y químicas requeridas para separar, transformar y acondicionar los componentes del gas natural para obtener productos de determinadas especificaciones, cuyas composiciones a su vez, son hidrocarburos (la mayoría) [4, 10, 14]. Al realizarse el proceso de fraccionamiento básico de los componentes del gas natural se forman grupos de productos derivados que se transforman en energía útil para industrias petroquímicas o de otras aplicaciones como refinerías de petróleo.

Con la purificación del gas natural, se obtiene condensado, agua, dióxido de azufre, dióxido de carbono e hidrocarburos líquidos. Los hidrocarburos líquidos son productos secundarios valiosos que se pueden vender por separado y tienen variedad de usos. Los productos petroquímicos tienen aplicabilidad en la mayoría de actividades cotidianas del ser humano y también en procesos de transformación industrial para luego realizar su comercialización.

La **gráfica 2**, presenta un esquema inicial y limitado asociado a la refinación del gas natural. Tanto el gas natural que proviene de yacimientos como libre y el asociado al petróleo, deben tratarse y acondicionarse (eliminar impurezas) para luego de ello pasar (si se desea) a una refinería de gas natural (donde se separan sus componentes mediante procesos físicos y químicos), la cual entregue materia prima para productos de petroquímica además de gas, y estos puedan ser útiles para usuarios finales de diversos sectores o para mismo uso de refinerías.

Gráfica 2. Esquema global de proceso de refinación del gas natural



Fuente: BARBERII Efraín. El pozo ilustrado.

1.3. VENTAJAS DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL

Al refinar el gas natural, se asegura que esté compuesto mayormente por metano para que pueda ser lo más puro y limpio posible, su combustión sea óptima y por lo tanto, sea una opción energética amigable con el medio ambiente, además de asegurar un producto final dentro de las especificaciones para uso de los usuarios finales.

Al separar los demás componentes del gas natural se obtendrá un producto final de mayor calidad, lo que brindará los siguientes beneficios como: aumento de la eficiencia en equipos industriales, protección de los equipos industriales frente a ensuciamiento y corrosión, aumento del poder calorífico del gas natural, mejora de la integridad física de los ductos por donde se transporte, se previene y controla la formación de depósitos sólidos a bajas temperaturas y menor generación de partículas sólidas (cenizas), así como también formación de espuma y generación de hidratos de metano en el gas natural (compuesto mayormente por metano) [6, 10].

Mientras que algunos componentes restantes, se transforman en energía útil para para diferentes tipos de industrias, otros serán tratados y refinados para llegar a encontrarse en un mejor mercado que el gas natural en sí.

La variedad de productos petroquímicos derivados y su aplicabilidad, permite que el gas natural sea apetecido como recurso energético por infinidad de industrias ya que es una materia prima con fácil acceso económico, con la que se puede obtener más de 200 productos e infinidad de aplicaciones [10, 17].

1.4. PARÁMETROS DE MAYOR IMPORTANCIA

Existen diversos parámetros a tener en cuenta cuando se desea refinar el gas natural, ya que es necesario que existan exigencias anticorrosivas, ambientales e higiénico-sanitarias, con el fin de que se brinde un uso final apropiado a los productos derivados del gas natural y a él mismo [6, 7, 18, 19]:

- Compuestos de azufre

Deben separarse del gas natural, ya que los compuestos del azufre resultan ser altamente reactivos y afectan el buen funcionamiento de diferentes procesos industriales. En procesos de combustión llegan a generar óxidos de azufre los cuales, liberados a la atmósfera, entran en contacto con el agua produciendo la lluvia ácida. De otro modo, el sulfuro de hidrógeno es un compuesto tóxico e inflamable que se encuentra normalmente en el gas natural cuando se extrae de depósitos y se debe evitar, ya que causa riesgo potencial para la salud humana, puede conducir a fisuración de tensiones metálicas en tuberías y puede actuar como catalizador venenoso en instalaciones petroquímicas. El azufre como contenido total, causa problemas para la salud humana, bloquea o tapa perforaciones de tuberías, corroe y, puede formar sulfuro de hierro (el cual puede encenderse automáticamente a presión atmosférica y temperatura específica cuando se expone al aire) [5, 19].

- Contenido de agua

Se debe separar del gas natural con el fin de evitar la formación de hidratos de metano, erosiones y corrosiones en los gasoductos para obtener un buen funcionamiento del gas natural en las tuberías [19].

- Contenido de nitrógeno

Debe separarse del gas natural, ya que puede generar emisiones de NO_x (gases compuestos por óxido nítrico y dióxido de nitrógeno), los cuales al tener un carácter ácido, contribuyen con el sulfuro de hidrógeno a la formación de la lluvia ácida, además de ser tóxico y generar problemas para la salud humana [19].

- Dióxido de carbono

No debe encontrarse en el gas natural, debido a que su contenido genera emisiones negativas en el medio ambiente y en la salud humana [16, 19].

- Gases inertes

Deben separarse del gas natural, ya que no proporcionan contenido de calor y, producen condensaciones y corrosiones [19].

- Hidrocarburos condensables

Es necesario que los hidrocarburos pesados sean separados del gas natural, con el fin de prevenir erosiones y corrosiones en los gasoductos, además de tener un adecuado ajuste en el poder calorífico del gas natural [19].

- Impurezas

Se deben separar del gas natural con el fin de prever condensaciones y corrosiones, además de seguir normas de seguridad. Los más importantes son, compuestos de azufre, vapor de agua, gases inertes y metales pesados; pueden generar emisión de partículas sólidas, hollín y humos [19].

- Metales pesados

Se considera como metales pesados, el mercurio, cadmio, arsénico, cromo, talio, plomo. Es cualquier elemento químico metálico con densidad relativamente alta y tóxica a bajas concentraciones. Deben separarse del gas natural, debido a que tienden a depositarse en áreas bajas de tuberías, instalaciones o aparatos, creando bloqueos. El mercurio puede llegar a dañar intercambiadores de calor de aluminio utilizados en procesos criogénicos [19].

- Poder calorífico

A presión constante, es la cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de volumen o de peso de un combustible a condiciones estándar, de tal manera que los productos salen también a condiciones estándar.

- Presencia de oxígeno

Aunque no se suele encontrar en cantidades significativas en campos de extracción de gas natural, su presencia atribuye a contaminación durante toda la cadena del gas natural (procesamiento, transporte, almacenamiento y distribución). En combinación con agua libre y/u otros componentes (CO_2 , H_2S y O_2), puede llegar a causar corrosión. Bajo algunas condiciones, el oxígeno se combina con el sulfuro de hidrógeno y forma azufre, lo que conduce a problemas operativos [19].

- Punto de rocío de hidrocarburos

Altas cantidades de propano o butano (además de otros hidrocarburos pesados) tienden a condensarse en las tuberías llegando a causar problemas en el transporte.

1.5. PROCESO DE REFINACIÓN EN COLOMBIA

Desde 1850 en Estados Unidos, se ha implementado el proceso de refinación de petróleo cuando apareció el reemplazo de aceite de ballena por queroseno para iluminación de carreteras y calles peatonales. Cuatro décadas después, mediante la existencia de automóviles, aparece el uso de la gasolina. Las refinerías de petróleo, llegan a ser consideradas como una fábrica compleja que funciona 24 horas diarias con procesos automatizados y controlados, los cuales requieren de poco personal, siendo un negocio que se ajusta a requerimientos de mercados y regulaciones ambientales.

Mientras que en Colombia, en 1909, se comenzaron a realizar intentos de operaciones de refinación en Cartagena de Indias con la compañía Cartagena Oil Refining Co., pero este impulso se terminó a mediados de los años 20 cuando se concentró el negocio en Barrancabermeja.

En 1957, la compañía International Petroleum Company, inauguró la Refinería de Cartagena y posteriormente, Ecopetrol la adquiere en 1974, siendo el objetivo principal: atender la demanda de combustibles del Norte de Colombia y contar con un punto de acceso estratégico para futuros mercados internacionales desde el terminal portuario del Mamonal.

A finales del 2015, entró en operación la nueva Refinería de Cartagena, siendo la más moderna en América Latina, capaz de producir combustibles de la mejor calidad internacional mediante operaciones limpias.

Hoy en día, las refinerías principales son: la refinería de Barrancabermeja y Reficar, las cuales suplen la producción nacional de combustibles y además atienden la demanda de productos de exportación. Como refinerías adicionales están la de Orito, Apiay y Yopal. Todas ellas producen combustibles limpios, con bajo contenido de azufre lo cual contribuye a mejorar la calidad medioambiental, y sus plantas son eficientes maximizando altos márgenes de producción, en donde se garantizan productos petroquímicos y combustibles con altos estándares de calidad.

Sus principales productos son: gasolina motor (corriente y extra), diesel, queroseno, Jet-A, avigás, GLP, combustóleo, azufre, ceras parafínicas, bases lubricantes, polietileno de baja densidad, hidrocarburos aromáticos, asfaltos, disolventes alifáticos, destilados medios, coque y otros [4].

Actualmente en Colombia, existen plantas de refinería de petróleo pero no se tienen estudios relacionados con implementación de plantas de refinería de gas natural, la

cual estaría regida por su principal objetivo que sería obtener productos derivados petroquímicos y combustible con altos estándares de calidad que contribuyan a la calidad medioambiental. Además de asegurar un costo competitivo final en los productos y aumentar la demanda de algunos de ellos.

2. PETROQUÍMICA Y SUS PRODUCTOS

La petroquímica se define como la industria que elabora productos químicos a partir de hidrocarburos, siendo el gas natural uno de sus insumos básicos más importante. Su función es transformar el gas natural y algunos derivados del petróleo en materias primas, los cuales representan la base de diversas cadenas productivas, llegando a producir grandes volúmenes de productos a partir de materias primas asequibles y a bajo costo.

Sus derivados proporcionan una diversa gama de sustancias primarias que, a través de diferentes procesos y tratamientos, se van transformando en otros semi productos ó productos que al final, son parte esencial de la mayoría de actividades de la vida cotidiana.

Uno de los objetivos de la refinación es acondicionar el gas natural (compuesto mayoritariamente de metano) como combustible o materia prima en industrias químicas, y los demás componentes pasarlos por un proceso de fraccionamiento en donde se puedan obtener gran cantidad de derivados que permitan la producción de compuestos químicos que sirvan de base para obtener productos para diferentes usos [3, 9, 11, 12, 17].

A continuación, se presenta en este capítulo, los productos que pueden obtenerse a partir de los diversos componentes que conforman el gas natural. Se detalla la variedad de usos y aplicaciones industriales.

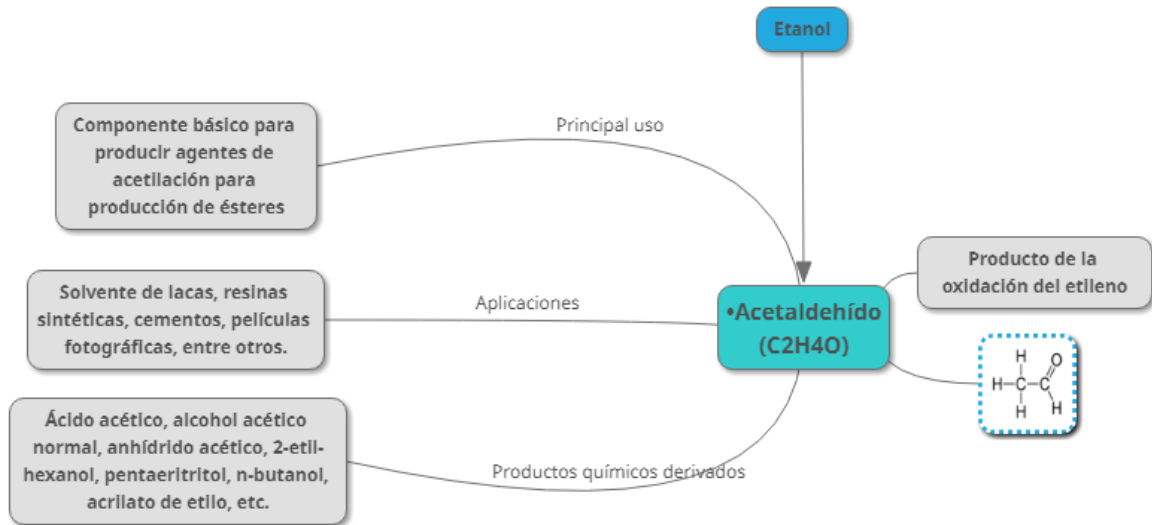
- Acetaldehído

Producto petroquímico fabricado por la oxidación del etileno, cuya fórmula química es C_2H_4O .

Se considera el componente básico para la producción del ácido acético y anhídrido acético, los cuales tienen grandes aplicaciones a nivel industrial como agentes de acetilación para obtención de ésteres. También es la materia prima para la producción de productos químicos como el 2-etil-hexanol, n-butanol, pentaeritritol, cloral, ácido cloro acético, acrilato de etilo, piridinas y ácido nicotínico, éter etílico y éteres de etilenglicol.

La variedad de usos y aplicabilidad del acetaldehído se encuentra en solventes de lacas, resinas sintéticas, manufactura de pieles artificiales, cementos, películas fotográficas, fibras (entre ellas, acetato de celulosa y acetato de vinilo) [1, 10].

Gráfica 3. Derivados del acetaldehído

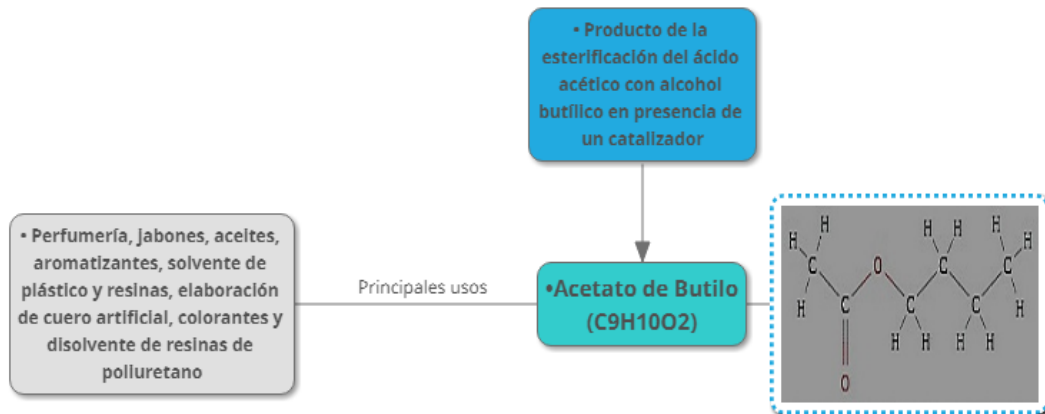


- Acetato de butilo

Producto petroquímico obtenido a partir de la esterificación del ácido acético con alcohol butílico, en presencia de un catalizador. Su fórmula química es C₉H₁₀O₂.

Sus principales usos son en perfumería, fabricación de jabones, aceites, aromatizantes, solvente de plástico y resinas. Además de ser excelente para preparación de lacas a base de nitrocelulosa, barnices y thinners; solvente de nitrocelulosa en removedores de esmalte, fabricación de cuero artificial, elaboración de colorantes y disolvente de resinas de poliuretano [1, 10].

Gráfica 4. Derivados del acetato de butilo



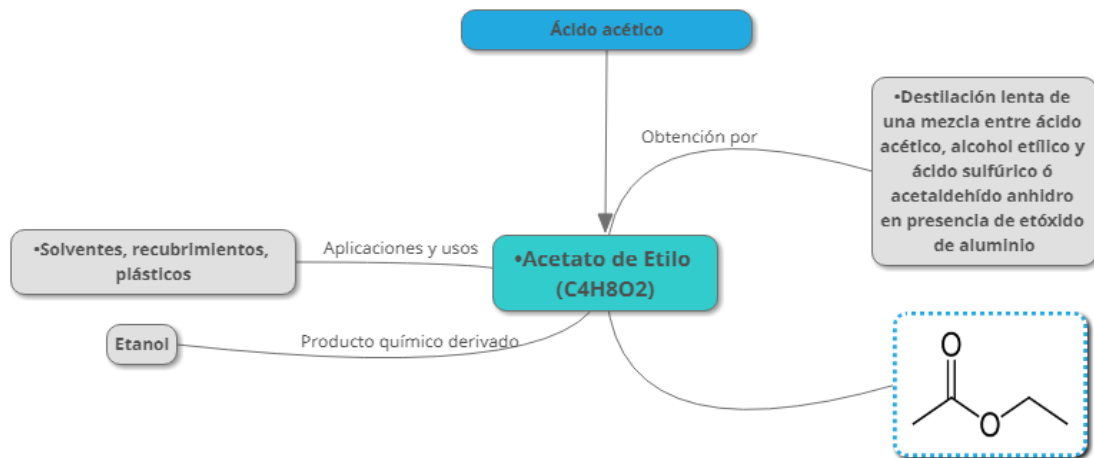
- Acetato de etilo

También es conocido como etanoato de etilo. Se obtiene por destilación lenta de una mezcla entre ácido acético, alcohol etílico y ácido sulfúrico, o a partir de acetaldehído anhidro en presencia de etóxido de aluminio. Su fórmula química es $C_4H_8O_2$.

Es utilizado como saborizante sintético, fabricación de perfumes y tinturas, solvente de nitrocelulosa, barnices y lacas, manufactura de piel artificial, películas y placas fotográficas, seda artificial, limpiadores de telas, solventes artificiales.

Además de tener otros usos en tintas para imprenta, adhesivos, recubrimientos y plásticos. Por lo que se utiliza en industria de textil, cosmética, adhesivos, industria alimenticia y farmacéutica [1, 10].

Gráfica 5. Derivados del acetato de etilo

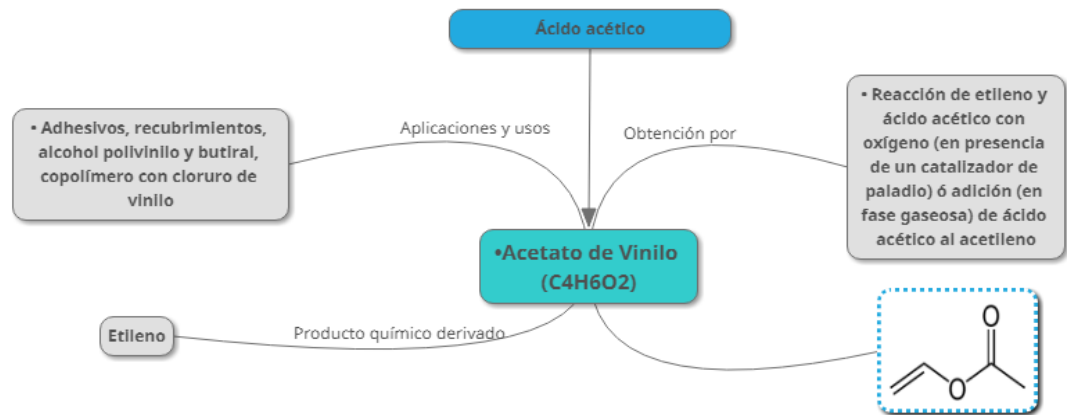


- Acetato de vinilo, VAM

También es conocido como etanoato de etenilo. Su principal método de producción es a partir de la reacción de etileno y ácido acético con oxígeno en presencia de un catalizador de paladio, o también se prepara mediante la adición en fase gaseosa de ácido acético al acetileno. Su fórmula química es $C_4H_6O_2$.

Precursor del acetato de polivinilo. Se usa para fabricar emulsiones de alcohol poli vinílico, y el principal uso de sus polímeros es en adhesivos, recubrimientos, pegamentos, pinturas, textiles y productos de papel, además del etilen-vinil-acetato [1, 10].

Gráfica 6. Derivados del acetato de vinilo



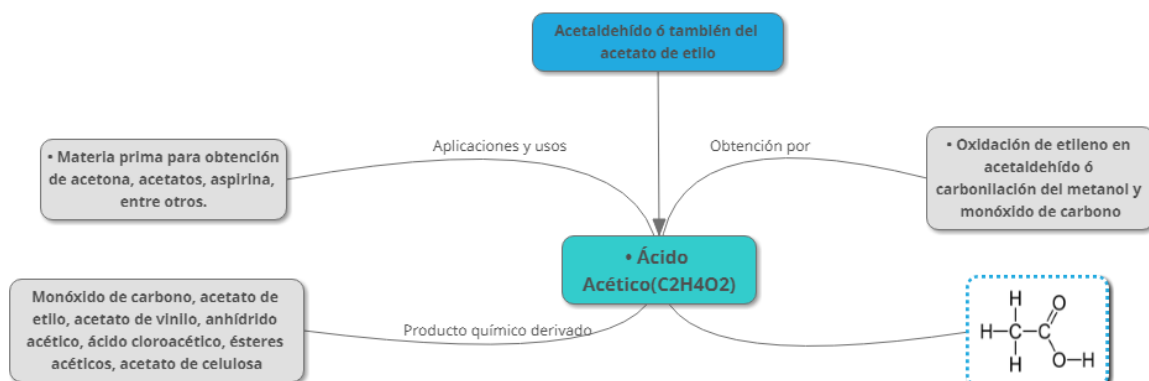
- **Ácido acético**

También es conocido como ácido etanóico. Se obtiene por carbonilación del metanol y el monóxido de carbono o por oxidación de etileno en acetaldehído. Su fórmula química es C₂H₄O₂.

Sus principales aplicaciones son, como condimento, fabricación de ésteres, esencias y anhídrido acético, fijador de colores, disolvente, fabricación de pieles artificiales, tintas, cementos, películas fotográficas, fibras sintéticas (como acetato de celulosa y de vinilo), lavado químico de equipos de diálisis, tinte en colposcopias para detección de VPH (virus del papiloma humano), bactericida, neutralizante en procesos de teñido en industria textil, detergentes, fluidos hidráulicos, entre otros.

Además de ser materia prima en obtención de acetona, acetatos (metilo, etilo, propilo, isopropilo, isobutilo, amilo, isoamilo, n-octilo, feniletilo, de vinilo), aspirina, entre otros [1, 10].

Gráfica 7. Derivados del ácido acético



- **Ácido adípico**

También conocido como ácido 1,6-hexanodioico. Es el ácido di carboxílico más importante, ya que es el principal precursor de la producción del nylon. Su fórmula química es $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4$.

Se obtiene por la mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona, el cual luego es oxidado con ácido nítrico para obtenerlo finalmente.

Entre sus principales aplicaciones se encuentran, fabricación de productos plastificados y lubricantes, llantas de automóviles, alfombras, ropa, acidulante, leudante, nylon, agente de teñido, además de utilizarse en la industria de pinturas y recubrimientos [1, 10].

- **Ácido benzoico**

Su fórmula química es $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$. Su principal aplicación es como conservante de alimentos de pH ácido, condimentar el tabaco, hacer pastas dentales, germicidas en la medicina y, es intermediario en la fabricación de plastificantes y resinas, además de usos para ablandar plásticos como PVC [1, 10].

- **Ácido cloro acético**

Se considera un peligroso agente de alquilación. Su fórmula química es $\text{C}_2\text{H}_3\text{ClO}_2$.

Es la materia prima para la producción de carboximetil celulosa, agentes pesticidas, herbicidas, colorantes, fármacos [1, 10].

- Ácido fenil acético

Compuesto que se utiliza para la producción ilícita de fenil acetona (fabricación de metanfetaminas). Su fórmula química es $C_8H_8O_2$.

Es la base para la producción de penicilina G y otros productos farmacéuticos como anfetamina y fenobarbital, también se usa en perfumería [1, 10].

- Ácido metacrílico

También conocido como ácido 2-metilpropeónico. Su fórmula química es $C_4H_6O_2$.

Se produce a gran escala a nivel industrial como precursor para sus ésteres, como el metil metacrilato (aplicaciones de odontología) (MMA), poli metil metacrilato (PMMA), ácido poli metacrílico (PMAA) [1, 10].

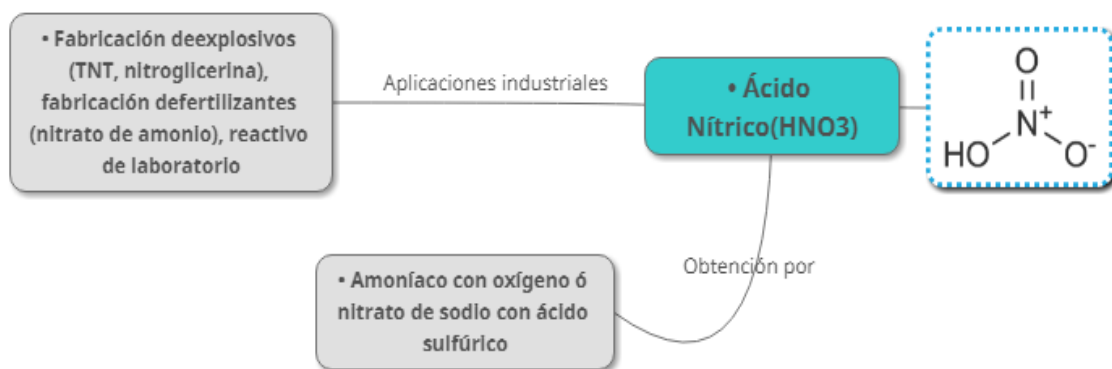
- Ácido nítrico

También es conocido como nitrato de hidrógeno. Puede obtenerse a partir de amoníaco y oxígeno, o también puede obtenerse a partir de nitrato de sodio y ácido sulfúrico. Su fórmula química es HNO_3 .

Tiene varias aplicaciones industriales, es utilizado para fabricar explosivos (como el trinitrotolueno, nitroglicerina), fabricación de fertilizantes (como el nitrato de amonio), además es utilizado comúnmente como un reactivo de laboratorio.

Además, se hace reaccionar con benceno en presencia de ácido sulfúrico y se obtiene el nitrobeneno [1, 10].

Gráfica 8. Derivados del ácido nítrico



- Ácido propiónico

También conocido como ácido propanóico. Su fórmula química es $C_3H_6O_2$.

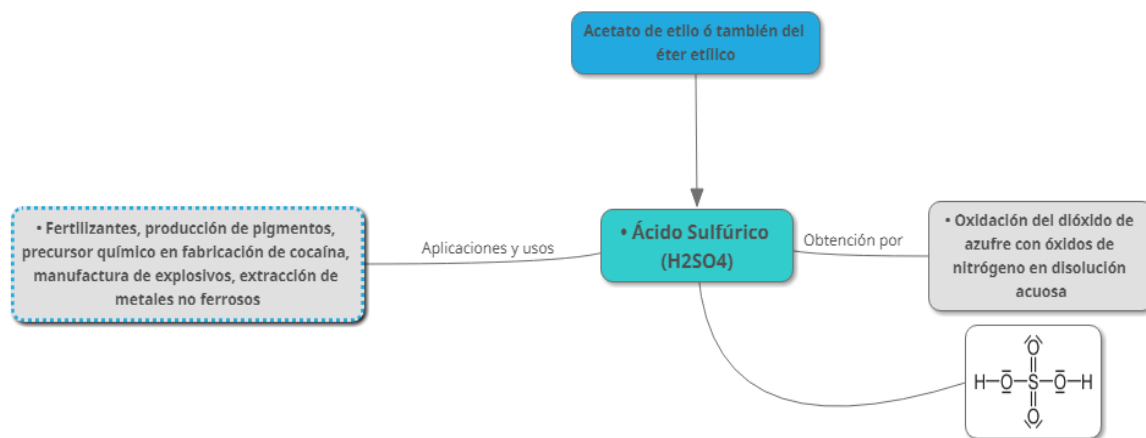
Tiene varias aplicaciones como preservativo de alimentos al ser inhibidor de crecimiento de moho y bacterias, se utiliza como polvo antimicótico para los pies, herbicida y pesticida, y para modificar fibras sintéticas de celulosa [1, 10].

- Ácido sulfúrico

Es extremadamente corrosivo, siendo el compuesto químico que más se produce en el mundo. Se obtiene a partir de la oxidación de dióxido de azufre con óxidos de nitrógeno en disolución acuosa. Su fórmula química es H_2SO_4 .

Gran parte de este compuesto se utiliza para obtención de fertilizantes, síntesis de otros ácidos y sulfatos. Además de otras aplicaciones importantes en la refinación del petróleo, producción de pigmentos, tratamiento de acero, extracción de metales no ferrosos, manufactura de explosivos, detergentes, plásticos, fibras, y se considera el precursor químico en la fabricación de cocaína [1, 10].

Gráfica 9. Derivados del ácido sulfúrico



- Ácido tereftálico

También conocido como ácido p-ftálico. Se produce al oxidar el para xileno con oxígeno en aire. Su fórmula química es $C_8H_6O_4$.

Se usa principalmente como precursor del poliéster PET (usado para hacer recubrimientos y botellas de plástico), también se utiliza en la industria textil y fibras

de poliéster (usadas principalmente en alfombras, ropa, muebles y aplicaciones industriales) [1, 10].

- Acrilonitrilo

Se obtiene del propileno al oxidarse en presencia de amoníaco. Su fórmula química es C_3H_3N .

Se usa principalmente para producción de plásticos, coberturas de superficie, elastómeros de nitrilo, resinas de barrera y adhesivos, es un intermediario químico en síntesis de antioxidantes, productos farmacéuticos, tintes, agentes activos de superficie, fibras textiles resistentes a agentes atmosféricos y luz solar, goma sintética, fibras de acrílico, además de ser materia prima para hacer hule nitrilo y acrilatos, hexametildiamina (para fabricación de nylon) y acrilamidas [1, 10].

Gráfica 10. Derivados del acrilonitrilo



- Acrilonitrilo butadieno estireno, ABS

Plástico resistente a golpes, muy utilizado en automóviles y cascos de motocicleta, sirve para fabricación de tuberías, juntas, revestimientos para las puertas de los refrigeradores, juguetes, carcasas de televisores, radios, videoconsolas, ordenadores, ratones e impresoras, instrumentos musicales, grapadoras, material de impresión.

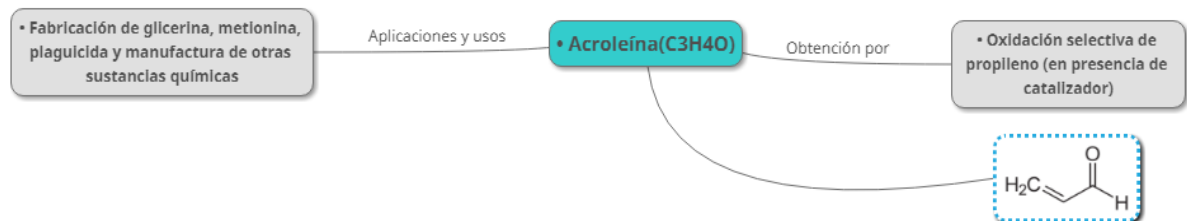
De otra manera, se puede usar en aleaciones con otros plásticos como el PVC, dando un plástico de resistencia a la llama con amplio uso en construcción de televisores. Se puede añadir teflón para reducir su fricción [1, 10].

- Acroleína

Líquido que se inflama fácilmente; se produce por oxidación selectiva de propileno en presencia de catalizadores. Su fórmula química es C_3H_4O .

Sirve como intermediario en fabricación de glicerina, la cual se usa para hacer supositorios y dinamita, también se utiliza para la producción de metionina, plaguicida y manufactura de otras sustancias químicas [1, 10].

Gráfica 11. Derivados de la acroleína



- Alcohol bencílico

También conocido como fenil metanol. Puede obtenerse mediante hidrólisis de cloruro de bencilo utilizando hidróxido de sodio. Su fórmula química es C₇H₈O₁.

Tiene aplicaciones de gran utilidad como la fabricación del acetato de bencilo y sirve para la obtención del ácido fenil acético [1, 10].

- Alcohol etílico

También conocido como etanol. A nivel mundial, es la sustancia psicoactiva de mayor consumo. Su fórmula química es C₂H₅OH.

Es la materia prima para las bebidas alcohólicas (como brandy, ron, coñac, vino tinto y blanco, entre otras.), acetato de etilo, éter etílico, etilaminas. También sirve para usos farmacéuticos, cosméticos, elaboración de ambientadores. Puede utilizarse como anticongelante y desinfectante, puede emplearse como combustible industrial y doméstico. Se utiliza para la producción de detergentes, solvente de pinturas, resinas y tintas, anticongelantes para radiadores de autos, fibras de poliéster, fabricación de adhesivos y selladores [1, 10].

Gráfica 12. Derivados del alcohol etílico

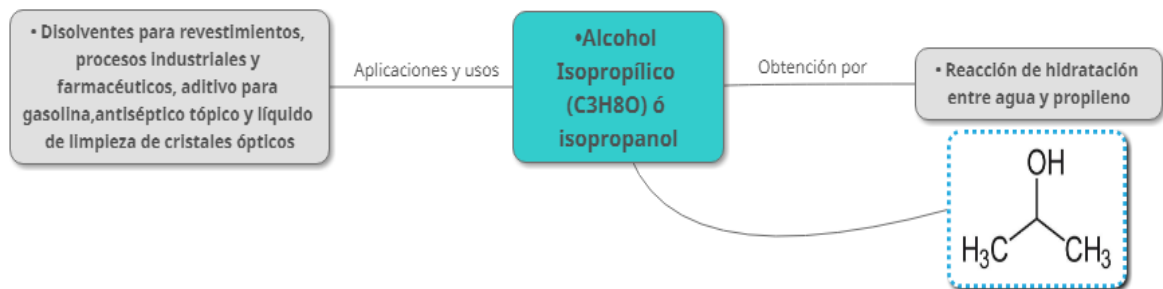


- Alcohol isopropílico

También conocido como isopropanol. Se produce principalmente por combinación de agua y propileno en una reacción de hidratación. Su fórmula química es C₃H₈O.

Se emplea mayormente en la industria de disolventes para revestimientos o procesos industriales, aplicaciones farmacéuticas; puede convertirse en acetona, aditivo para la gasolina, antiséptico tópico y líquido de limpieza de cristales ópticos [1, 10].

Gráfica 13. Derivados del alcohol isopropílico



- Alcohol sec-butílico

También conocido como 2-butanol. Su fórmula química es C₄H₁₀O.

Se emplea para hacer acetato de butilo, el cual es usado principalmente como solvente. También puede obtenerse el metil-etil-acetona que tiene aplicación como solvente en fabricación de lacas y recuperación de cera y parafinas en refinerías [1, 10].

- Alcohol terbutílico

También conocido como terbutanol, 2-metil-2-propanol. Su fórmula química es $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$.

Es el principal intermediario en la fabricación de resinas fenol-formaldehído, además uno de sus derivados es el p-terbutil fenol [1, 10].

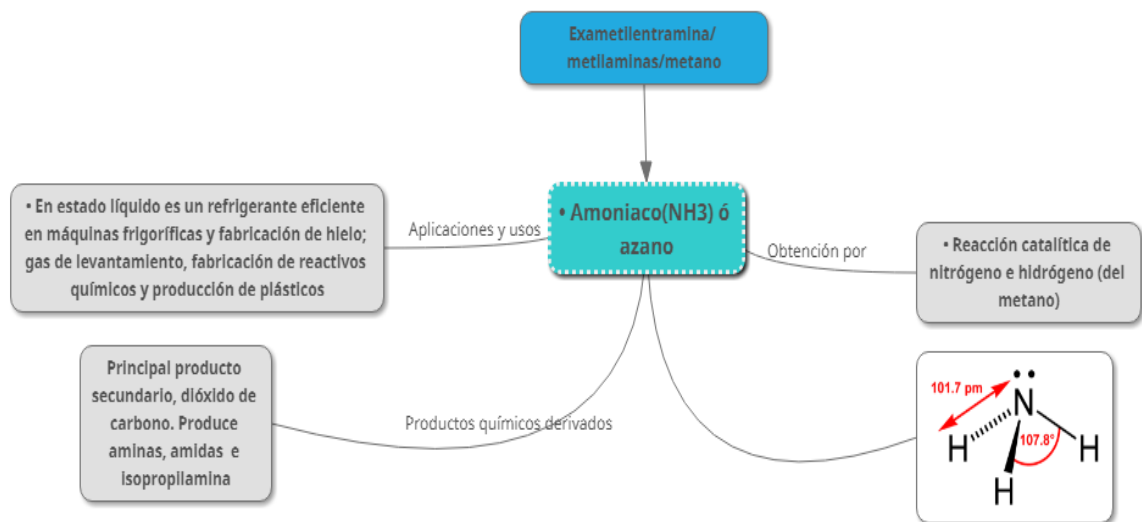
- Amoniaco

También conocido como azano. Se obtiene mediante una reacción catalítica de nitrógeno e hidrógeno (del metano). Su fórmula química es NH_3 .

Uno de sus principales productos secundarios es el dióxido de carbono. El amoniaco líquido es un refrigerante eficiente usado en máquinas frigoríficas y fabricación de hielo.

Tiene otros usos como gas de levantamiento, tratamientos de color en la madera, producción de fertilizantes (como el nitrato de amonio, sulfato de amonio, urea, fosfato de amonio y sulfato de hidroxilamina), fabricación de reactivos químicos (como el ácido nítrico, acrilonitrilo y ácido cianhídrico) los cuales son usados para hacer explosivos. Usado también en producción de plásticos (como nylon, resinas urea-formaldehído, uretano y melamina), fibras sintéticas, papel, artículos de limpieza, aminas, amidas e isopropilamina [1, 10].

Gráfica 14. Derivados del amoniaco

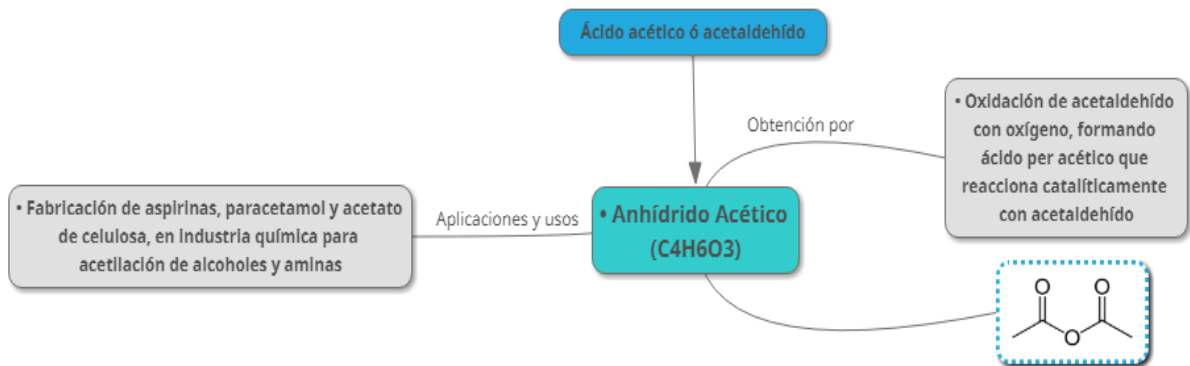


- Anhídrido acético

Industrialmente puede ser producido por oxidación del acetaldehído con oxígeno, formando ácido per acético que reacciona catalíticamente con otra molécula de acetaldehído para dar el anhídrido acético. Su fórmula química es $C_4H_6O_3$.

Se utiliza principalmente para hacer aspirinas y paracetamol, además sirve para fabricar fibras, perfumes, productos farmacéuticos, acetato de celulosa (usado en la industria textil y de plásticos) el cual es empleado en la química para acetilación de alcoholes y aminas, y puede actuar también como deshidratante [1, 10].

Gráfica 15. Derivados del anhídrido acético



- Anhídrido ftálico

Puede obtenerse por oxidación catalítica del orto xileno y naftaleno, aunque también puede prepararse a partir del ácido ftálico. Su fórmula química es $C_6H_4(CO_2)O$.

Se utiliza en la industria de colorantes, fabricación de ésteres de ftalato, ftalimida, cloruro de polivinilo, resinas poliéster (junto con anhídrido maléico, propilenglicol y uniones cruzadas con estireno), producción de resinas poliéster insaturadas (para embarcaciones, muebles, industria de construcción, autopartes, tuberías y tanques de almacenamiento), fabricación de pinturas, barnices y recubrimientos, ácido benzoico, sales metálicas, anhídrido tetracloroftálico y ácido tereftálico, además de colorantes [1, 10].

- Anhídrido maleico

Su producción se da al mezclar n-butano con aire en contacto con un catalizador de oxidación, también se puede por la oxidación del benceno u otros compuestos aromáticos. Su fórmula química es $C_2H_2(CO)_2O$.

El anhídrido maléico se emplea para la fabricación de poliésteres insaturados, ácido fumárico, resinas alquídicas, para modificar las propiedades de los plásticos. Sirve como materia prima para la elaboración de resinas, plastificantes, anilina, producción de isocianatos para hacer poliuretanos, productos químicos para industrias hulera, fotográfica, farmacéutica, y en la producción de tintes (colorantes y pigmentos).

Es un producto intermedio empleado para disolventes, o para dar polímeros como politetrahidrofurano o polivinilpirrolidona. Además de utilizarse para producción de insecticidas, fungicidas, herbicidas y reguladores del crecimiento de plantas [1, 10].

- Azufre

Elemento químico utilizado principalmente como fertilizante, fabricación de pólvora negra, laxantes, insecticidas, ácido sulfúrico para baterías y vulcanizado del caucho. También se emplea como antiséptico, fungicida, además de ser el precursor de mercaptanos y dióxido de azufre [1, 10].

Gráfica 16. Derivados del azufre



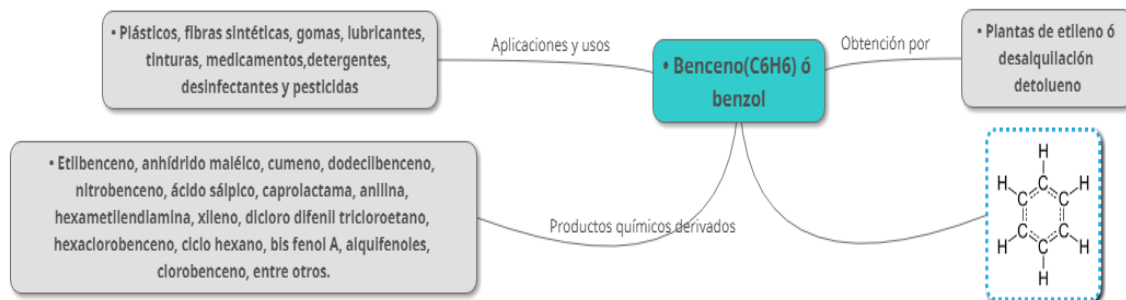
- Benceno

También conocido como benzol. Se obtiene a partir de plantas de etileno y desalquilación de tolueno. Su fórmula química es C_6H_6 .

Se utiliza para la producción de plásticos, resinas, nylon, fibras sintéticas, gomas, lubricantes, tinturas, medicamentos, detergentes, disolvente de grasas, removedores de pinturas, desinfectantes y pesticidas, caucho.

Sus principales derivados son el etilbenceno, anhídrido maléico, cumeno, dodecibenceno, nitrobenceno, ácido sálpico, caprolactama, anilina, hexametildiamina (para fabricación de nylon), xileno, dicloro difenil tricloroetano, hexaclorobenceno, ciclo hexano, bis fenol A, alquifenoles, cloro benceno, entre otros [1, 10].

Gráfica 17. Derivados del benceno



- Benzaldehído

Se produce a partir de tolueno mediante diferentes procesos de síntesis. Su fórmula química es C₇H₆O.

Se emplea como solvente de aceites, resinas, ésteres y éteres celulósicos. Es considerado un ingrediente alimentario en saborizantes de industria alimenticia y fabricación de perfumes. También, se usa en productos farmacéuticos, aditivos de plásticos y colorantes de anilina [1, 10].

- Butadieno

También conocido como 1,3-butadieno. Su fórmula química es C₄H₆.

Materia prima en industria de elastómeros, llantas de vehículos, juntas, sellos, caucho sintético. También se utiliza para fabricar plásticos, 4-vinilciclohexano, ciclo alcanos, ciclo alquenos, hexametildiamina (fundamental para la fabricación del nylon), diclorobutenos, ácido adípico, 3,4-dicloro-1-buteno (materia prima para producción de cloropreno), 1,3-ciclopentadieno, 1,5-ciclopentadieno. 1,4-butanodiol y cloropreno [1, 10].

- Butano

Su fórmula química es C_4H_{10} . El cual se utiliza como combustible, producción de gasolina y en propelentes de aerosoles (mezcla butano y propano), producción de isobutileno para caucho sintético [1, 10].

- Buteno

También conocido como butileno. Se obtiene en reacciones de cracking a partir de petróleo. Su fórmula química es C_4H_8 .

Puede obtenerse productos como películas plásticas, ácido acético, butadieno, anhídrido maléico y butano [1, 10].

- Butilenglicol

Se utiliza para la producción de plastificantes poliméricos, cosméticos, hidratante cutáneo, construcción de piezas de poliuretano, lavado de tejidos textiles y desengrasante de metales [1, 10].

- 1,4-butanodiol

Derivado del butadieno. Su fórmula química es $C_4H_{10}O_2$.

El cual se usa principalmente en la fabricación de tetrahidrofurano (solvente en industria química), resinas de polibutilentereftalato, poliuretanos, productos farmacéuticos, solvente, recubrimientos, hule sintético, plastificantes y poliésteres termoplásticos [1, 10].

- Caprolactama

Se produce a partir de ciclo hexano y amoníaco, ó a partir de tolueno. Su fórmula química es $C_6H_{11}NO$.

Es la principal materia prima para la producción de nylon-6, el cual es usado en aplicaciones como trajes de baño, ropa interior, llantas, textiles industriales, cinturones de seguridad y plásticos de ingeniería [1, 10].

- Ciclo hexano

Se obtiene a partir de la reducción de benceno con hidrógeno a altas presiones en presencia de un catalizador. Su fórmula química es C_6H_{12} .

Una de sus aplicaciones industriales más importantes es la producción de caprolactama y ácido adípico (usados en la fabricación de nylon), industria de calzado y como disolvente [1, 10].

- Ciclo pentano

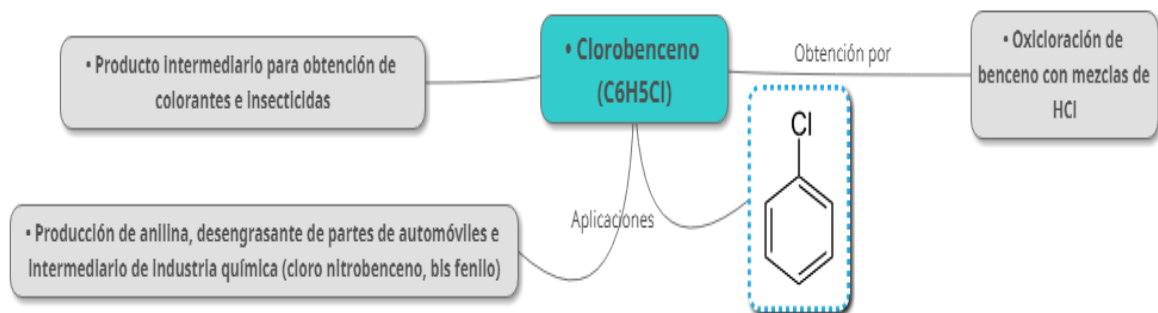
Su fórmula química es C_5H_{10} . Entre sus principales usos, se encuentra como espumante, agente soplante y producción de espuma de poliuretano [1, 10].

- Cloro benceno

Importante disolvente que actúa como producto intermediario para obtención de colorantes e insecticidas. Puede obtenerse por oxícloración de benceno con mezclas de HCl. Su fórmula química es C_6H_5Cl .

Entre sus aplicaciones se encuentra la producción de anilina, intermediario de industria química (como cloro nitrobenzono, bis fenilo, entre otros), además de desengrasar partes de automóviles [1, 10].

Gráfica 18. Derivados del cloro benceno



- Cloropreno

También conocido como 2-cloro-1,3-butadieno. Puede obtenerse a partir del butadieno. Su fórmula química es C_4H_5Cl .

Utilizado en la producción de poli cloropreno (o neopreno), amortiguadores, fabricación y revestimiento de tuberías para transporte de productos químicos y revestimiento de cables eléctricos [1, 10].

- Cloruro de alilo

Derivado del propileno. Su fórmula química es C_3H_5Cl . Uno de sus principales productos es la epíclorhidrina [1, 10].

- Cloruro de bencilo

También conocido como (clorometil) benceno. Se obtiene a partir de la cloración de tolueno. Su fórmula química es C_7H_7Cl .

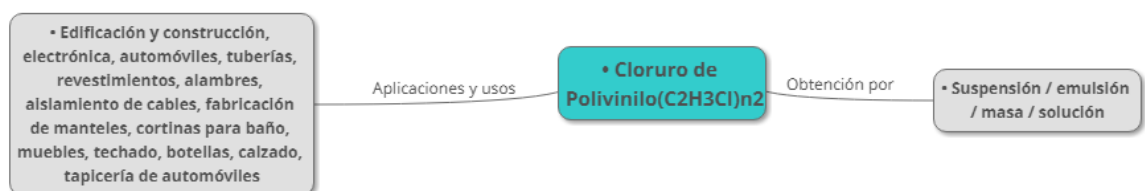
Utilizado para la producción de cloruro de benzal, alcohol bencílico, benzaldehído. Su uso industrial se encuentra en la manufactura de plásticos, perfumes, resinas artificiales, colorantes, productos farmacéuticos, entre otros [1, 10].

- Cloruro de polivinilo

Se conoce como el derivado del plástico más versátil. Existe el tipo rígido y flexible. Generalmente es utilizado para aplicaciones como edificación y construcción, electrónica, automóviles.

Se pueden obtener productos como tuberías, revestimientos, alambres, aislamiento de cables, fabricación de manteles, cortinas para baño, muebles, tapicería de automóviles, techado, botellas, calzado, entre otros [1, 10].

Gráfica 19. Derivados del cloruro de polivinilo



- Cloruro de vinilo

También conocido como cloro eteno. Se obtiene a través de la combinación de adición de gas clorhídrico al acetileno, o descomposición del 1,2-dicloroetano. Su fórmula química es C_2H_3Cl .

Se emplea casi su totalidad para producción de cloruro de polivinilo y su restante, en otros componentes clorados de uso industrial. Además, algunos usos que se le dan son: adhesivos para plásticos, polímeros para cubrir asientos de automóviles y

muebles de oficina, tuberías, recubrimientos para papel, materiales de empaque, fibras textiles [1, 10].

- Cumeno

También conocido como isopropilbenceno. Se obtiene de la reacción de benceno con propileno. Su fórmula química es C_9H_{12} . Sus principales productos derivados son el fenol y la acetona [1, 10].

- Dicloroetano

Entre sus principales aplicaciones y usos se encuentra: la producción del cloruro de vinilo, solventes (como tricloroetileno, percloroetileno, metilcloroformo), cloruro de etilo, tetra etilo de plomo, etilendiamina y otros productos aminados, además de servir como solvente en la medicina para extracción de esteroides [1, 10].

- Dimetil tereftalato

Su fórmula química es $C_{10}H_{10}O_4$. Normalmente utilizado en la industria textil y fabricación de poliésteres insaturados. Se puede obtener p-xileno (para la producción de etilenglicol) y fabricación de fibras y resinas poliéster [1, 10].

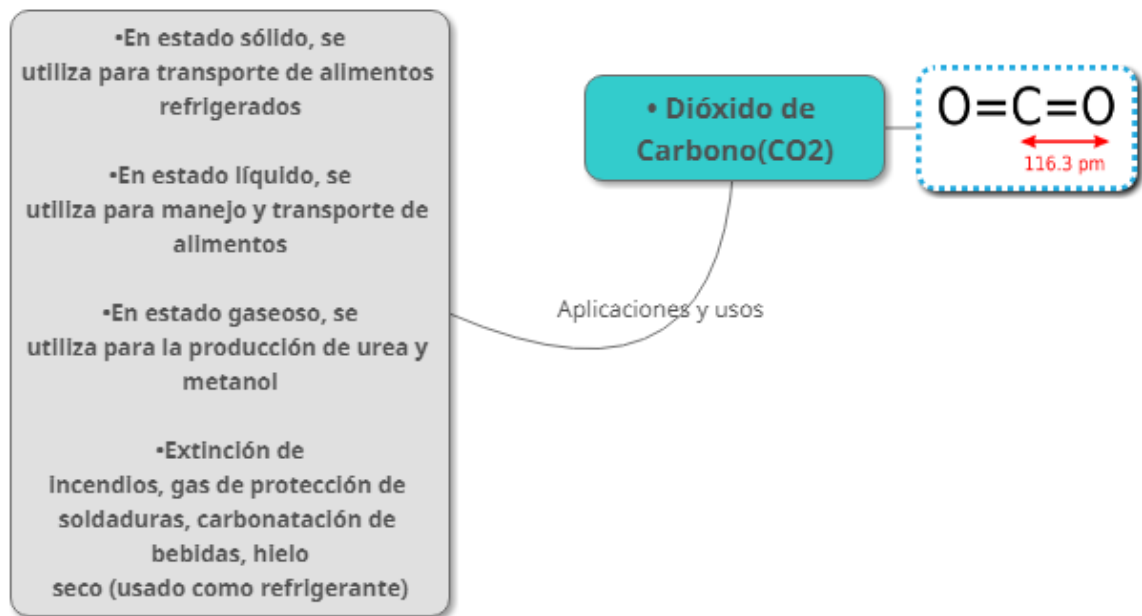
- Dióxido de carbono

Conocido también como óxido de carbono. Su fórmula química es CO_2 .

Sus usos y aplicaciones principales son carbonatación de bebidas gaseosas y cervezas. En la industria química, puede utilizarse para la mejora de la producción industrial del metano. Es útil en la extinción de incendios, como gas de protección de soldaduras, obtención de silicato de sodio (al reaccionar con fenolato sódico, utilizado para producción de aspirina), fabricación de carbonato de plomo básico y carbonatos de sodio, potasio y amonio. También, se utiliza como agente neutralizante en operaciones de mercerización en industria textil.

En estado sólido, se utiliza para transporte de alimentos refrigerados por carretera o aire. Al comprimirse se transforma en hielo seco usado como refrigerante. En estado gaseoso, se utiliza para la producción de urea y metanol. En estado líquido, se utiliza para el manejo y transporte de alimentos envasados, cerveza, empaquetado de café, entre otros [1, 10].

Gráfica 20. Derivados del dióxido de carbono



- Dipropilenglicol

Usado en la fabricación de lubricantes hidráulicos y de industria textil. Además, sirve como solvente, aditivo en alimentos y para la fabricación de jabones industriales, perfumes y ambientadores [1, 10].

- Dodecilbenceno

También conocido como 1-fenildodecano. Su fórmula química es C₁₈H₃₀.

Se utiliza para fabricar detergentes no biodegradables usados para lavar ropa y vajillas, además de fabricación de aditivos para el aceite de motores [1, 10].

- Estireno

También conocido como etenilbenceno. Su fórmula química es C₈H₈.

Sus principales productos derivados son co polímeros de estireno ABS SAN, fibras, láminas de fibra de vidrio, poli estireno cristal, resinas poliéster, tabletas electrónicas. Además, se puede convertir en hule sintético SBR (estireno butadieno) o resinas ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) [1, 10].

- Estireno acrilonitrilo

Basado en estireno, se designa como SAN.

Sus principales aplicaciones se encuentran en fabricación de artículos para el hogar como batidoras, licuadoras, aspiradoras, etc., componentes para automóviles, bandejas y componentes internos de las neveras, artículos médicos, estuches para cosméticos, artículos para el hogar [1, 10].

- Etano

Su fórmula química es C_2H_6 . Se emplea como principal materia prima para la producción de etileno y polietileno. También, puede formar hidrógeno, propano, propileno, butano, butileno, butadieno y gasolina pirolítica. Puede usarse como solvente para pinturas [1, 10].

- Etano lamina

También conocido como 2-aminoetanol o monoetanolamina, abreviado ETA ó MEA.

Es utilizada como anticongelante para radiador de auto, fibras de poliéster para prendas de vestir, polímeros usados en manufactura de artículos moldeados, solventes, productos químicos para la industria textil, adhesivos, selladores, fabricación de jabón, detergentes, tintas, caucho [1, 10].

- Eter etílico

También conocido como etoxietano. Su fórmula química es $C_4H_{10}O$.

Se puede obtener como subproducto de la producción de etanol a través de la hidratación de etileno (en fase vapor) usando como catalizador el ácido fosfórico. O a través de la deshidratación de etanol con ácido sulfúrico.

Se emplea como analgésico, anestésico, solvente, productos farmacéuticos, gomas, perfumes, acetato de celulosa, nitrato de celulosa, colorantes, resinas, ceras [1, 10].

- Etilamina

También conocido como etano amina. Su fórmula química es C_2H_7N .

Utilizado principalmente para producción de hule sintético, insecticidas, inhibidores de corrosión, tintes, disolventes y síntesis orgánica [1, 10].

- Etilbenceno

También es conocido como etilbenzol. Su fórmula química es C_8H_{10} .

Se usa para fabricar artículos para el hogar (como cubiertas de televisores, licuadoras, aspiradoras, secadores de pelo, radios, muebles, juguetes, vasos térmicos desechables, etc.), también se emplea para empaques y materiales de construcción. Este compuesto se utiliza principalmente para la fabricación de estireno [1, 10].

- Etilenglicol

También conocido como etanodiol. Su fórmula química es $C_2H_6O_2$.

Utilizado principalmente como anticongelante para radiadores de auto, fabricación de fibras de poliéster para prendas de vestir, polímeros usados en manufactura de artículos moldeados, solventes y productos químicos para la industria textil, adhesivos y selladores, así como fluidos para frenos hidráulicos, tinturas para estampar, bolígrafos y talleres de imprenta [1, 10].

Gráfica 21. Derivados del etilenglicol



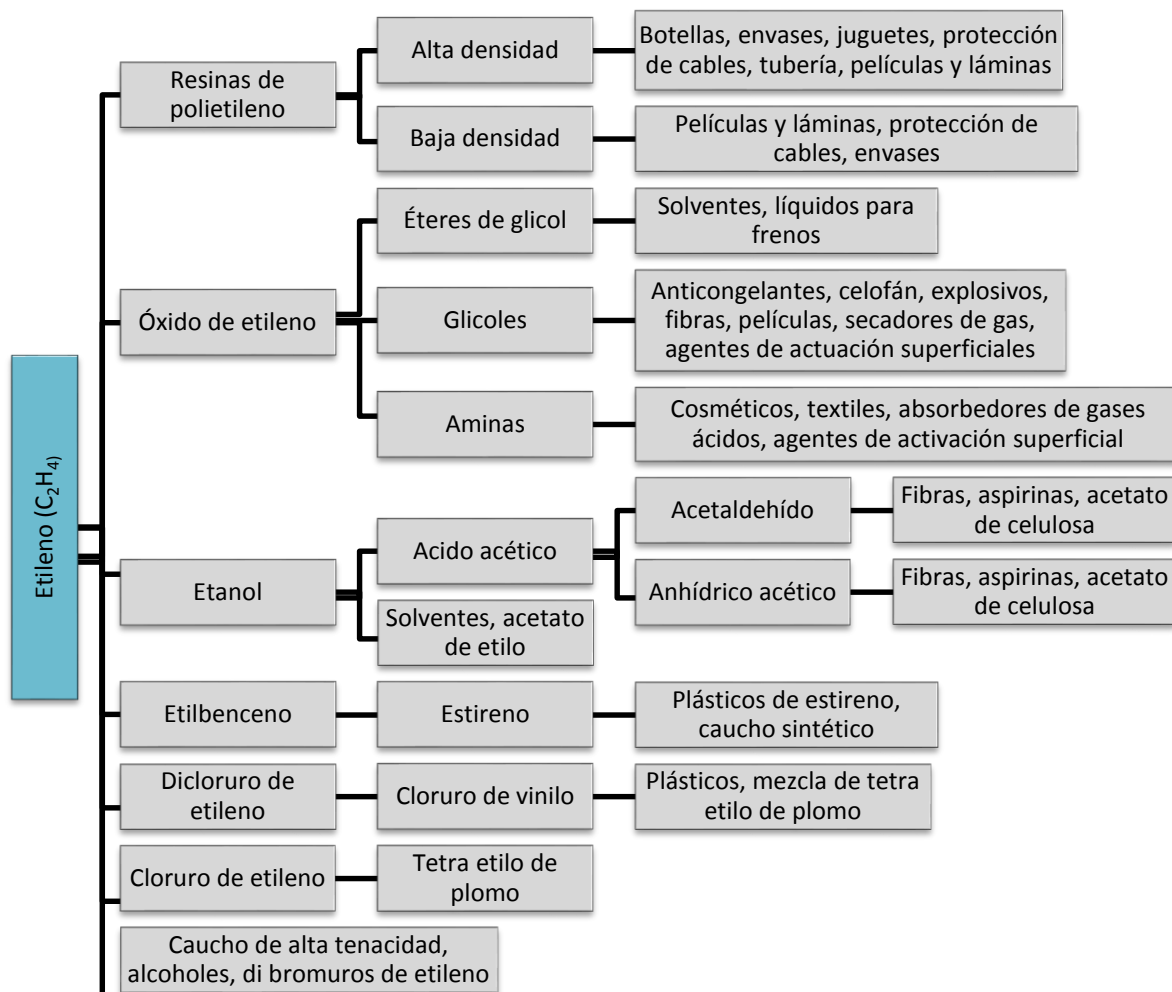
- Etileno

También conocido como eteno. Su fórmula química es C_2H_4 .

Alrededor del 90% de su producción industrial, es utilizada para la obtención de polietileno. Otras aplicaciones se encuentran en producción de recubrimientos y moldes, plásticos, fibras, resinas, caucho y solventes.

Fabricación de monómero de estireno, acetaldehído, etilbenceno, etanol, cloruro de vinilo, etilenglicol, acetato de vinilo, alcohol poli vinílico, polietileno (alta y baja densidad), alcohol etílico y cloruro de etilo, resinas PET, propileno [1, 10].

Gráfica 22. Derivados del etileno



- 2-etilhexanol

Su fórmula química es $C_8H_{18}O_1$.

Normalmente, se utiliza para la producción de plastificantes, como también el n-butiraldehído [1, 10].

- Fenol

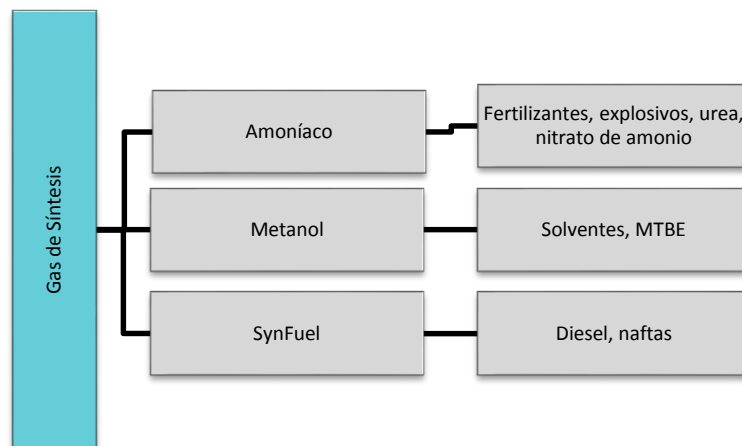
También conocido como alcohol fenílico. Su fórmula química es C_6H_6O .

Se utiliza para hacer resinas fenólicas, fabricación de bis fenol-A, resinas epóxicas (usadas en fabricación de pegamentos), ácido acetil salicílico (aspirina), nonilfenol [1, 10].

- Gas de síntesis

Conocido como una mezcla de hidrógeno y óxidos de carbono con agua. Utilizado para la producción de amoníaco y metanol, combustible, tolueno, isobutano, etilenglicol, entre otros [1, 10].

Gráfica 23. Derivados del gas de síntesis



- Glicerina

También conocido como glicerol. Su fórmula química es $C_3H_8O_3$.

Se usa para la elaboración de cosméticos, medicamentos en forma de jarabes, supositorios de glicerina (cuya acción es laxante), lubricación de maquinarias, fabricación de explosivos, productos de consumo (como extractos de té, café, refrescos), lacas y pinturas, entre otros [1, 10].

- Hidrógeno

Utilizado principalmente para el mejoramiento de combustibles fósiles y producción de amoníaco. Entre otros usos se encuentran en industria automotriz, generación de energía, aeroespacial, telecomunicaciones [1, 10].

- Isobutano

También conocido como 2-metilpropano. Su fórmula química es C_4H_{10} .

Utilizado principalmente para la producción de MTBE, óxido de propileno, 1,3-butadieno [1, 10].

- Isobuteno

También conocido como isobutileno. Su fórmula química es C_4H_8 .

Se utiliza como producto intermedio para la producción de diversos productos. Su principal aplicación es la producción de MTBE se usa para la producción de metacroleína, goma de butilo, antioxidantes, iso octano, 1,2-diisobutilenglicol, 2,6-di-terbutil-p-cresol, alcohol terbutílico, óxido de isobutileno.

Además, mejora el índice de viscosidad de aceites lubricantes, reduce el consumo de combustible y emisiones de monóxido de carbono sin modificar el sistema de combustible [1, 10].

- Isopropanol

También conocido como alcohol isopropílico. Se obtiene de hacer reaccionar el propileno con ácido sulfúrico. Su fórmula química es C_3H_8O .

Usado para la fabricación de acetona, agua oxigenada, desinfectante (en la medicina), productos químicos como acetato de isopropilo, isopropilamina, propilato de aluminio, aunque también es utilizado como aditivo para la gasolina [1, 10].

- Isopropilamina

También conocido como 2-propanamina. Se obtiene de la reacción de óxido de propileno con amoníaco. Su fórmula química es C_3H_9N .

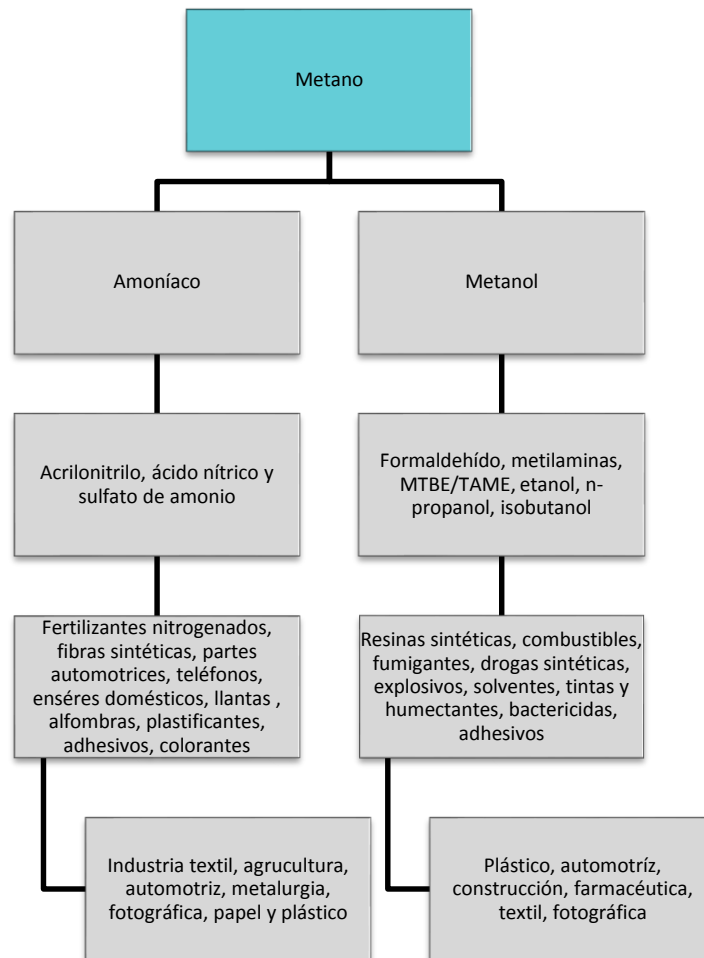
Sus usos principales son en medicamentos, emulsificante en cosméticos, jabones, detergentes, productos químicos, fabricación de plásticos e industria agroquímica [1, 10].

- Metano

También conocido como tetra hidruro de carbono. Su fórmula química es CH_4 . Compuesto de mayor porcentaje en el gas natural.

Sus principales usos son como combustible para generación eléctrica. También, se utiliza como materia prima para la fabricación de hidrógeno, metanol, ácido acético, anhídrido acético, gas de síntesis, amoníaco y metanol. Otros productos químicos que pueden obtenerse son, acetileno y cloro metanos [1, 10].

Gráfica 24. Derivados del metano



- Metanol

También conocido como alcohol metílico. Su fórmula química es CH_4O .

Utilizado como combustible, además de ser empleado como disolvente y anticongelante. Se utiliza en la manufactura de formaldehído y tereftalato de dimetilo, síntesis químicas (metil aminas, cloruro de metilo, metil metacrilato), combustible de aviación, materia prima para manufactura de proteínas sintéticas

por fermentación continua, salicilato de metilo, acetato de metilo, propionato de metilo, benzoato de metilo.

También es la materia prima para la producción de metil terbutil éter y teramil metil éter (componentes de la gasolina). Algunos otros derivados del metanol son, dióxido de carbono, hidrógeno y alcoholes superiores como sulfuro dimetilico, dimetil sulfónico, formaldehído, pentaeritritol, fungicidas, urea [1, 10].

- Metaxileno

Se utiliza para la fabricación de ácido isoftálico [1, 10].

- Metil cloroformo

También conocido como 1,1,1-tricloroetano. Se utiliza normalmente para desengrasar metales y para el lavado en seco de la ropa [1, 10].

- Metil tert-butil éter

Se fabrica combinado con sustancias químicas como isobutileno y metanol. Su principal aplicación es como aditivo para incrementar el octanaje de gasolina sin plomo [1, 10].

- Metionina

También conocido como ácido-2-amino-4-metiltiobutanóico, es derivado de la acroleína. Su fórmula química es $C_5H_{11}NO_2S$. Se utiliza como suplemento alimenticio [1, 10].

- Negro de humo

Su materia prima es el gas natural, se usa en hule de las llantas, fabricación de tintas, lacas, pinturas, fabricación de diamantes artificiales [1, 10].

- Nitrobenceno

También conocido como nitro benzol. Su fórmula química es $C_6H_5NO_2$.

Se utiliza para la fabricación de anilina, además de la bencidina, trinitrobenceno, ácido nitrobenzolsulfónico, fucsina, quinolina o fármacos. También, se emplea como disolvente de pinturas, vendajes de piel, pulidores de zapatos y pisos [1, 10].

- Nitrógeno

Se utiliza para la adición al gas natural (metano) para tener calidad apta para transporte en gasoducto y comercialización [1, 10].

- Nonilfenol

También es conocido como 4-(2,4-dimetil-3heptanil) fenol. Su fórmula química es $C_{15}H_{24}O$.

Usado principalmente para la fabricación de productos de limpieza como base de shampoos para cabello, detergentes. Puede utilizarse para la producción de etoxilatos de nonilfenol o nonoxinolos [1, 10].

- N-propanol

Utilizado principalmente para la producción de herbicidas, solventes, ésteres propílicos y peróxido de hidrógeno [1, 10].

- Octeno

También conocido como octileno. Se utiliza para la fabricación de orto xileno y para xileno [1, 10].

- Orto xileno

Se utiliza para la fabricación de anhídrido ftálico, resinas alquídicas, PVC flexible (tuberías, revestimientos, cables, aplicaciones de uso médico) y ftanitrilo para hacer pigmentos [1, 10].

- Óxido de butileno

Se encuentra el 1,2-epoxibutano y 2,3-epoxibutano. Se utiliza para la fabricación de butilenglicoles y derivados, productos farmacéuticos, surfactantes, agentes tenso activos. Actúa como producto químico intermedio para insecticidas, fumigantes, disolventes de pinturas, barnices, entre otros.

Se usa en polímeros de recubrimiento de redes de abastecimiento de agua y materia prima para producción de resinas en industria papelera [1, 10].

- Óxido de etileno

También conocido como oxirano. Su fórmula química es C_2H_4O .

Se utiliza principalmente para la fabricación de glicol de etileno, poliéster, resinas PET, maduración de frutas, herbicida y fumigante. Algunos derivados son el etilenglicol, poli etilenglicol, éteres de glicol, etano laminas, poliuretanos [1, 10].

- Óxido de propileno

Sus principales usos son para fumigación de alimentos, mejora de propiedades (absorción, humedad, teñido) en fibras de algodón, polioles, glicoles, isopropilamina, así como también se utiliza diluido con dióxido de carbono para reducir al máximo su inflamabilidad [1, 10].

- Para xileno

Se obtiene del octeno-1 ó de isomerización y cristalización de xilenos. Esencial para el proceso de fabricación de botellas de plástico, fibras de poliéster, rayos X, películas de video y cassetes de audio. Otros usos principales son producción de ácido tereftálico, ácido tereftálico purificado y dimetil tereftalato [1, 10].

- Pentano

Su fórmula química es C_5H_{12} . Sus propiedades resultan ser semejantes a las de los butanos y hexanos.

Se emplea como disolvente de laboratorio, además de ser un agente espumante primario usado en la producción de espuma de poli estireno. También puede utilizarse como fuente de trabajo en centrales de energía geotérmica (debido a su bajo punto de ebullición, bajo costo y seguridad frente a otros componentes) [1, 10].

Gráfica 25. Derivados del pentano



- Percloroetileno

Disolvente de limpieza en seco mayormente utilizado. Además, se utiliza también para desengrasar metales, materia inicial de otros productos como limpiadores para frenos de auto, protectores de gamuza, repelentes de agua, silicona y lubricantes para correas [1, 10].

- Poli estireno

Obtenido de la polimerización del estireno monómero. Existen cuatro tipos principales los cuales son: poli estireno cristal, poli estireno de alto impacto, poli estireno expandido y poli estireno extruido. El poli estireno es considerado el cuarto plástico más consumido en el mundo, después del polietileno, polipropileno y PVC.

Las principales aplicaciones son, fabricación de envases mediante extrusión-termo formado (para aislantes térmicos en construcción), producción de neveras para transporte de vacunas, aislante térmico en suelos, ropa deportiva, cascos de ciclismo, aglutinante en explosivos, electrodomésticos, accesorios eléctricos, juguetes, mueblería, materiales de construcción [1, 10].

- Polietileno

Plástico común debido a su bajo precio y simplicidad en fabricación. Se obtiene de la polimerización del etileno.

Se utiliza para la fabricación de estireno, materiales de construcción, aislantes eléctricos, material de empaque, fibras, recubrimientos de cables y alambres [1, 10].

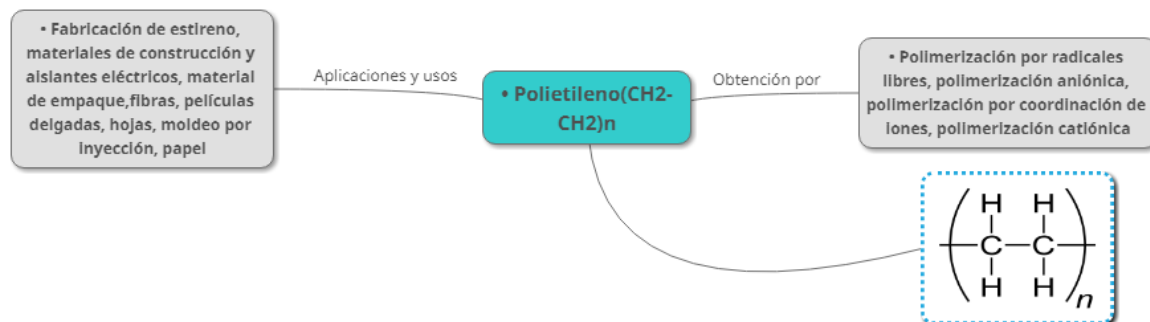
Usos del polietileno de baja densidad:

Bolsas de todo tipo, envasado automático de alimentos y productos industriales, base para pañales desechables, contenedores herméticos domésticos, tubos y pomos, tuberías para riego, artículos para el hogar, fármacos, juguetes y recipientes alimenticios.

Usos del polietileno de alta densidad:

Envases (para detergentes, shampoos, lácteos, helados, aceites y pintura), bolsas de supermercado, tuberías (para perforación y transporte de petróleo crudo, gas, telefonía, agua potable, minería y uso sanitario), cubiertas de libros y carpetas, tapices para muros, biberones de bebé, juguetes, forros de sacos para dormir, artículos para el hogar, plásticos transparentes [1, 10].

Gráfica 26. Derivados del polietileno



- Polietilentereftalato

Conocido por sus siglas PET. Tipo de plástico usado en fabricación de envases y empaques, fibra de poliéster en industria textil, bandejas de horno convencional o microondas, botellas [1, 10].

- Polioles poliéster

Utilizado principalmente para la producción de poliuretanos que pueden ser tanto flexibles (fabricación de cojines y colchones) o rígidos (fabricación de salvavidas) [1, 10].

- Polipropileno

También conocido como poli(1-metiletileno). Polímero que se utiliza como plástico o como fibra. Como plástico se utiliza para la fabricación de envases de alimentos, como fibra se utiliza para la fabricación de alfombras. Otros usos son, bolsas que pueden meterse al horno, revestimiento de guardafangos, bastidores del aire acondicionado y de la calefacción, ropa interior, ropa deportiva, tapicería, cables para uso marítimo, aparatos eléctricos, juguetes, maletas, parachoques de carros, contenedores de alimentos [1, 10].

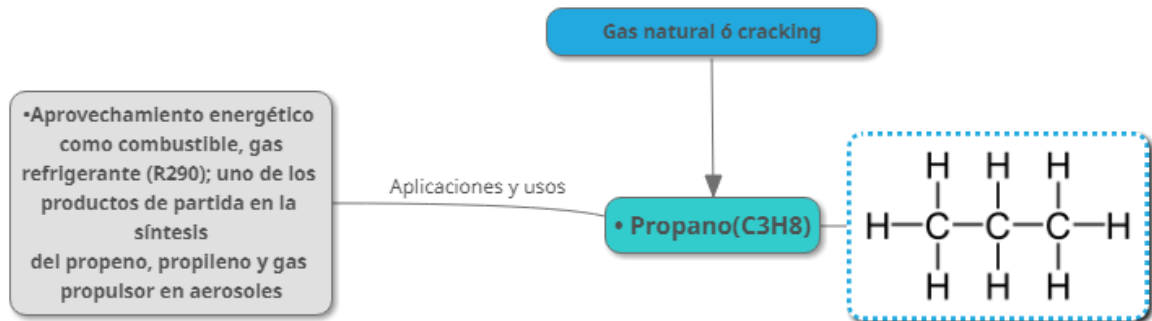
- Poliuretano

Material plástico que se presenta de varias formas, ya que puede fabricarse rígido o flexible. Se utiliza en aplicaciones como, aislante para neveras y congeladores, aislantes para construcción, acolchado para muebles, colchones, componentes de automóviles, recubrimientos, adhesivos, ropa deportiva, aparatos domésticos, calzado, juguetes, fibras y salvavidas [1, 10].

- Propano

Su fórmula química es C_3H_8 . Su principal uso es como combustible, aunque también suele utilizarse en la síntesis del propeno, gas refrigerante o gas propulsor en aerosoles [1, 10].

Gráfica 27. Derivados del propano



- Propilenglicol

Su fórmula química es $C_3H_8O_2$. Se obtiene por la hidratación del óxido de propileno.

Tiene diversas aplicaciones como, humectante en productos (farmacéuticos, cosméticos y de alimentos), lágrimas artificiales, solvente para coloración de alimentos, anticongelante de alimentos, desinfectante antibacteriano, fluido hidráulico para máquinas, refrigerante en motores de bombas sumergibles, fabricación de resinas poliéster, polímeros usados en manufactura de artículos moldeados, adhesivos y selladores [1, 10].

Gráfica 28. Derivados del propilenglicol



- Propileno

Segundo compuesto más utilizado en la industria química. También conocido como propeno. Su fórmula química es C_3H_6 .

Se utiliza para la fabricación de fibras sintéticas, alcohol isopropílico, ácido acrílico, acroleína, aditivos para el aceite de los motores, propilenglicol, polioles, acrilonitrilo, accesorios para baño, adhesivos para aglomerados de madera, agitadores de lavadoras, asientos y volantes automotrices, cascos de lanchas, colchones, componentes eléctricos, butanol, cumeno, gasolina polimerizada, plásticos, caucho y solventes [1, 10].

- Resinas fenólicas

Su gran aplicación se da para la fabricación de controles, manijas, aparatos, pegamentos, adhesivos, material aislante, laminados para edificios, muebles, tableros y partes de automóviles [1, 10].

- Resina melamina formaldehído

Su gran aplicación se da para la fabricación de vajillas, utensilios de cocina, laminados de alta presión y suelos laminados, muebles y gabinetes, pinturas, barnices, lacas [1, 10].

- Resinas poliéster

Su gran aplicación se da para la fabricación de artículos moldeados, mercado automotriz, tanques, lanchas, pinturas para aviones, suelas de zapatos, aplicaciones de ingeniería [1, 10].

- Sulfuro de hidrógeno

También conocido como ácido sulfhídrico. Su fórmula química es H_2S . Sus principales usos son, precipitación de cationes de metales pesados, envejecedor de bronce, preparación de cueros, obtención de azufre elemental [1, 10].

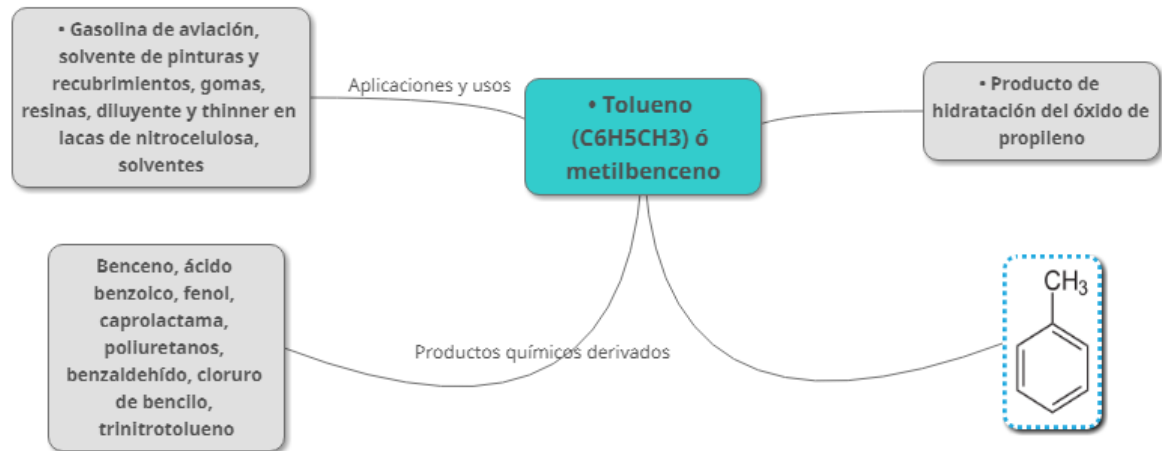
- Tolueno

También conocido como metilbenceno. Su fórmula química es C_7H_8 .

Se obtienen derivados como: benceno, ácido benzoico, fenol, caprolactama, poliuretanos, benzaldehído, medicamentos, detergentes, trinitrotolueno, colorantes, perfumes, gasolina de aviación. También, se utiliza como solvente de pinturas y

recubrimientos, fabricación de gomas, resinas, hule y thinners en lacas de nitrocelulosa [1,10].

Gráfica 29. Derivados del tolueno



- Tricloroetileno

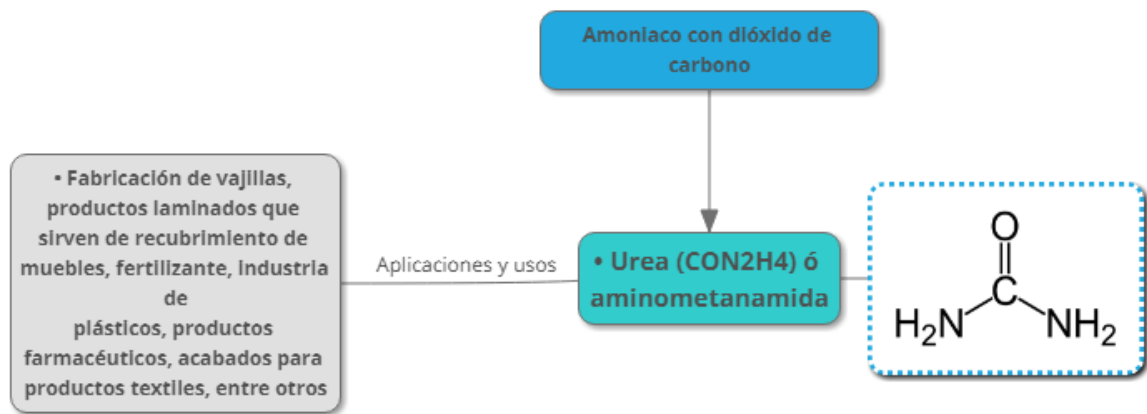
También conocido como 1,1,2-tricloroetano. Su fórmula química es C₂HCl₃. Usado principalmente como solvente para desengrasar metales, líquido decapante de pintura y anestésico general en la medicina [1, 10].

- Urea

También conocido como carbamida, aminometanamida, diaminometanona. Proveniente de amoníaco con dióxido de carbono. Su fórmula química es CON₂H₄.

Sus principales aplicaciones son: como fertilizante, industria química y de plásticos (adhesivos, plásticos, resinas, tintas, productos farmacéuticos, acabados para productos textiles, papel, metal), producción de drogas como metanfetamina, suplemento alimenticio para ganado, fabricación de vajillas, productos laminados, gabinetes, pastas para moldeo y pastas de clutch [1, 10].

Gráfica 30. Derivados de la urea



- Uretano

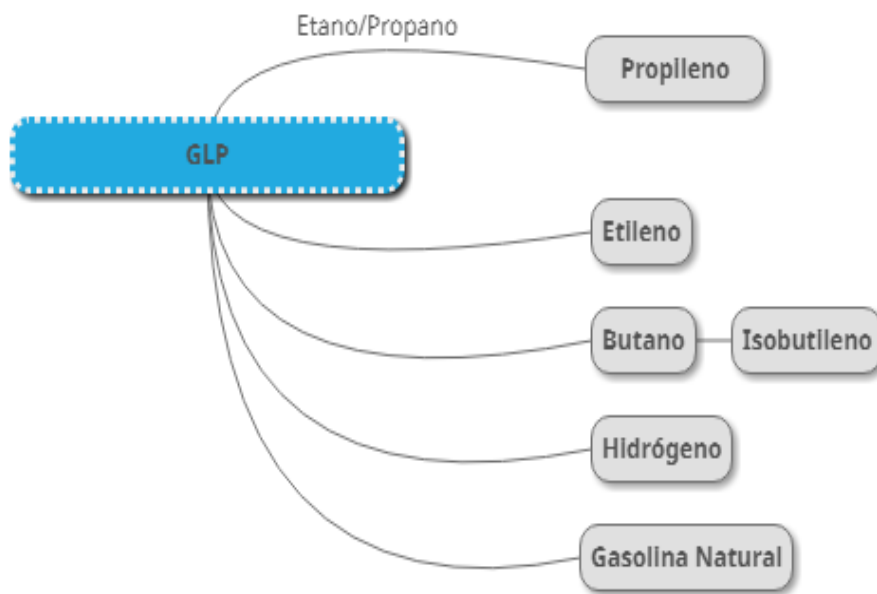
También conocido como etiluretano, etilcarbamato. Su fórmula química es $C_3H_7NO_2$. Se obtiene por reacción de amoníaco con carbonato de etilo o calentando nitrato de urea con etanol. Se utiliza para la fabricación de volantes, defensas, tableros para instrumentos [1, 10].

- Xileno

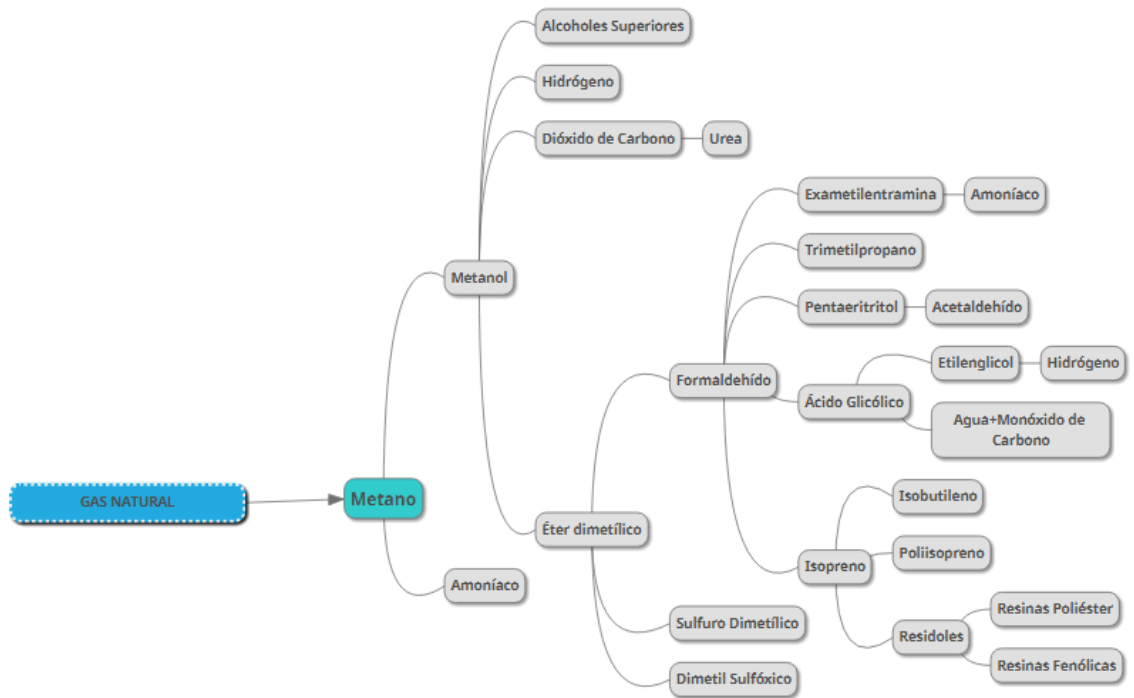
También conocido como xilol ó di metilbenceno. Su fórmula química es C_8H_{10} . Se obtiene del dimetilado del benceno.

Se utiliza para la fabricación de disolventes, elaboración de cosméticos, secantes, esmaltes, lacas, fibras sintéticas, pinturas, líquidos de limpieza, perfumes, repelentes de insectos, resinas exposídicas, productos farmacéuticos e industria de cuero [1, 10].

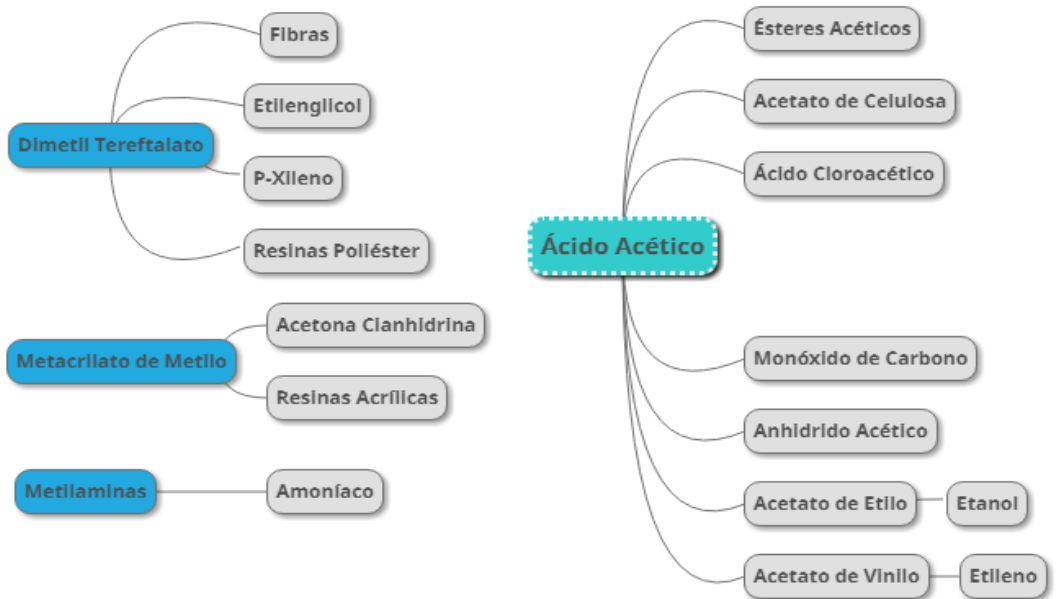
Gráfica 31. Productos derivados del GLP



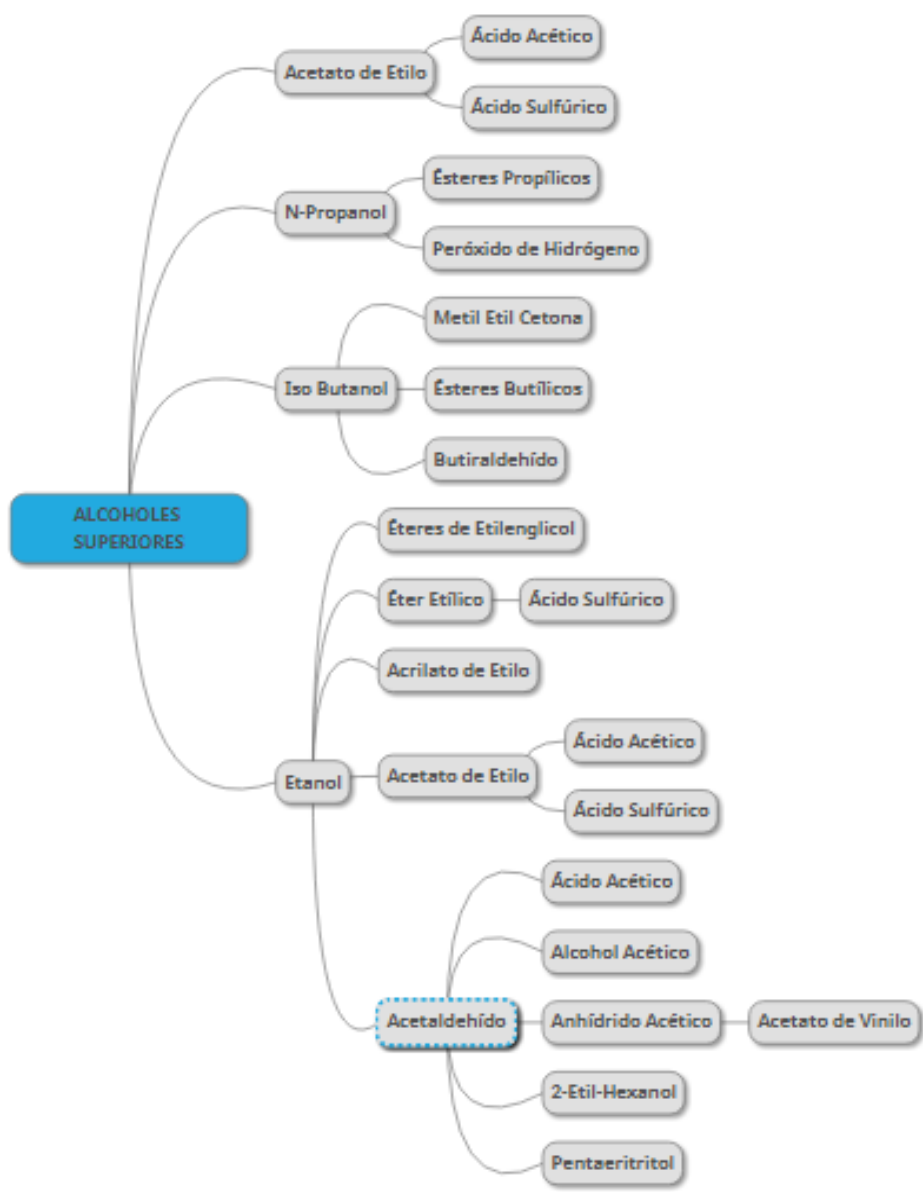
Gráfica 32. Productos derivados del gas natural



Gráfica 33. Productos intermedios obtenidos de gas natural



Gráfica 34. Alcoholes superiores obtenidos de gas natural



3. REFINACIÓN DEL GAS NATURAL

La petroquímica se considera compleja, debido a que aunque se puede llegar a obtener gran cantidad de productos derivados a partir de elementos básicos como hidrógeno y carbono (hidrocarburos), por otro lado, cada hidrocarburo posee características y propiedades físico químicas únicas y diferentes las cuales requiere de tratamientos y procesos especiales para obtener productos con calidad garantizada.

Cada día, se busca integrar nuevos conceptos y procesos, diversos diseños de plantas, modernización en el control de operaciones y empleo de mejores aditivos y catalizadores con el fin de obtener productos con mejores rendimientos. Para esto, es necesario tener en cuenta que los procesos de refinación aunque son variados y se diferencian unos de otros, se llegan finalmente a conformar una cadena de procesos para [6, 9]:

- Destilar crudo y gas y, separar productos
- Destilar, modificar y reconstituir molecularmente los hidrocarburos
- Obtener estabilidad, purificación y mejor la calidad en los productos derivados obtenidos

3.1. USO DE LA ENERGÍA EN LA REFINACIÓN

Todas las operaciones ligadas a la refinación del gas natural requieren del uso de la energía, la cual se utiliza y se consume de diferentes maneras ya sea en procesos endotérmicos o exotérmicos, como por ejemplo:

- Calentamiento, conversión de agua en vapor, enfriamiento
- Calentamiento de hidrocarburos hasta temperaturas de ebullición o enfriamiento de los mismos
- Funcionamiento de intercambiadores de calor o enfriadores de fluidos
- Refrigeración de líquidos
- Funcionamiento de equipos rotativos (turbinas, bombas, compresores, ventiladores, entre otros)

Esta energía primaria se puede obtener del gas natural como combustible, productos y residuos derivados de operaciones o electricidad generada en sitio; y así como se produce energía, también se requiere para poder realizar diversas operaciones mecánicas, eléctricas y químicas en diferentes procesos de la refinería.

La generación y el consumo eficiente de energía es un punto clave cuando se decide invertir y manejar un negocio de planta de refinación, debe evaluarse costos de generación, utilización y consumo de energía con buena práctica en las operaciones además, de tomar en cuenta requerimientos adicionales que van unidos a la energía y son dependientes en los procesos como temperatura, presión y calidad del vapor [6, 9].

3.2. ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES

El proceso de refinación del gas natural presenta ventajas frente al proceso de refinación del crudo debido a que sus emisiones atmosféricas son menores y los usuarios reciben sus productos con iguales aspectos y características.

La industria del gas natural (como otras industrias), durante el proceso de refinación puede presentar emisiones atmosféricas provenientes de fuentes puntuales y no puntuales. Por ejemplo, una fuente puntual es la chimenea o tea, ya que son emisiones que durante el día se presentan en igual sitio, pero al ser puntuales poseen la ventaja de que pueden monitorearse y tratarse. Por otro lado, una fuente no puntual puede llegar a ser una emisión fugitiva la cual es difícil de localizar y por ende, de capturar. Estas fuentes no puntuales se pueden encontrar en todo tipo de procesamientos y refinación, que pueden ir desde válvulas, conexiones de tuberías, bombas, compresores, tanques de almacenamiento, entre otras, que aunque sean pequeñas fugas individuales, la sumatoria de todas puede llegar a ser mayor que las de las fuentes de emisiones puntuales.

Las empresas pueden llegar a minimizar estas emisiones al diseñar instalaciones con menor cantidad posible de componentes y conexiones y así, se puede también cuantificar las emisiones de una manera eficiente.

3.3. GAS QUEMADO EN TEA Y SU APROVECHAMIENTO

El gas quemado en tea es una operación que mediante una combustión (segura y fiable) se quema gases residuales que son considerados como inutilizables o no recuperables. Si se quema en tea un combustible con contenido de impurezas y/o gotas de líquido, se llega a emitir muchos otros subproductos como partículas de compuestos orgánicos volátiles (benceno, tolueno, xileno, hidrocarburos aromáticos poli cíclicos y pequeñas cantidades de compuestos de azufre como disulfuro de carbono y sulfuro de carbonilo), humo e hidrocarburos inquemados.

Esta actividad es realizada por industrias y campos petroleros diariamente y se considera, una prioridad para el gobierno, debido a que la cantidad de emisiones al medio ambiente pueden acarrear problemas serios de salud en habitantes cercanos

al punto de quema, además de preocupaciones ambientales por emisiones enviadas al aire e indignación industrial debido a que no se le da un correcto aprovechamiento a un recurso que no es renovable.

El gas quemado en tea puede llegarse a procesar y tratar y finalmente, convertir un recurso desperdiciado en uno de gran utilidad para la sociedad, como puede ser en una planta de refinación de gas natural.

3.4. ETAPAS DEL DESARROLLO PETROQUÍMICO

El proceso para desarrollo petroquímico general se divide en:

- i) Fabricación de materias de base o productos de primera generación. Del gas natural se llegan a obtener diversos productos básicos, de los cuales los grupos más importantes son, las olefinas y los aromáticos
- ii) Introducción de átomos de ciertos componentes (oxígeno, nitrógeno, azufre) en los productos básicos, para obtener productos de segunda generación ó productos intermedios
- iii) Elaboración de productos de consumo, los cuales provienen de productos básicos e intermedios. Allí, se obtiene variedad de productos habituales de consumo

3.5. MÉTODOS DE REFINACIÓN

Cada refinería presenta un conjunto de equipos unidos por tuberías que funcionan bajo condiciones específicas de entrada y salida de la carga, según características de cada proceso y equipos auxiliares. Además, cada proceso tiene características y equipos para producir determinado número de productos y además, cada refinería cuenta con un seleccionado número de procesos para satisfacer la variedad de productos requeridos por sus usuarios finales.

Para la refinación del gas natural, es necesario tener en cuenta los contaminantes gaseosos más comunes que pueden encontrarse con el fin de eliminarlos antes de seleccionar un tratamiento para refinar y obtener diversos productos petroquímicos. Algunos contaminantes son: ácido sulfhídrico, hidrógeno, hidrocarburos condensables, dióxido de carbono, vapor de agua, dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, compuestos clorados volátiles, compuestos fluorados volátiles, compuestos de nitrógeno, monóxido de carbono, sulfuro de carbonilo, disulfuro de carbono, compuestos orgánicos de azufre y cianuro de hidrógeno [8, 13].

El gas natural se somete a diferentes procesos en la refinación para eliminar principales compuestos en su tratamiento primario, y aunque sus principales usos

son como combustible y materia prima en la petroquímica, deben implicarse procesamientos para obtener diversos productos petroquímicos.

- Purificación de gas natural: limitar el gas natural como combustible regido por el Reglamento Único de Transporte para seguridad y calidad de entrega del combustible a los usuarios finales (se eliminan contaminantes como nitrógeno, vapor de agua, gases ácidos, entre otros)
- Separación de componentes: se separan compuestos con mayor valor petroquímico para darles uso en otro mercado (tales como el propano, etano, helio, entre otros)

El tratamiento primario consiste en la reducción de la mayor cantidad de contaminantes del gas (utilizando procesos físicos simples) y el respectivo procesamiento que se le da a un gas natural para limitarlo a condiciones estipuladas por el Reglamento Único de Transporte.

El tratamiento secundario consiste en proporcionar un mayor nivel de calidad y limpieza al gas utilizado en el tratamiento primario, y además incluir tratamientos con procesos físicos y químicos para obtener productos derivados.

Los elementos básicos son reactores, condensadores, desgasificadores, destiladores, recicladores, deshidratadores, despojadoras, desulfuradoras, neutralizadores, separadores, reformadores, absorbedoras, y muchos más. Con sus respectivos equipos complementarios para manejar los servicios requeridos de agua, vapor, gas, refrigeración, calefacción, medición, control y seguridad. Además, se tiene en cuenta capacidad de carga o volúmenes diarios, proyecciones de demanda y oferta, características, costos de operaciones, aspectos de comercialización, entre otros.

Si se desea producir productos petroquímicos a partir de hidrocarburos vírgenes contenidos en el petróleo, es necesario someterlos a una serie de reacciones según las siguientes etapas:

- Transformar hidrocarburos vírgenes en productos con una reactividad química más elevada, por ejemplo el etano (parafina que contiene el petróleo) convertirla a etileno
- Incorporar a las olefinas y a los aromáticos obtenidos en primera etapa otros hetero átomos tales como cloro, oxígeno, nitrógeno, obteniéndose productos intermedios de segunda generación, por ejemplo, del etileno (al reaccionar con oxígeno) se produce acetaldehído y ácido acético.

- Operaciones finales que forman los productos de consumo, se precisan formaciones particulares de modo que sus propiedades correspondan a usos que prevén.

A continuación, se describen los principales métodos para purificación o refinación del gas natural.

3.5.1. Método de absorción

Proceso más utilizado e importante en refinación de gases el cual se recomienda utilizar con soluciones alcalinas para refinación de grandes volúmenes con contaminantes como ácido sulfhídrico y/o dióxido de carbono, ya que la solución se puede regenerar e involucra una reacción química reversible entre el componente gaseoso que es absorbido al componente líquido.

El funcionamiento del método consiste en: una sustancia contenida en la corriente gaseosa es succionada hasta el interior de una corriente líquida y esta es retenida por su solubilidad.

Sus principales ventajas es que requiere de poca infraestructura y es un método de bajo costo. Se utiliza normalmente agua presurizada como absorbente.

Entre los principales tipos de absorción se encuentra la limpieza con agua (en lecho seco) y con solventes físicos.

- Limpieza con agua: método fisicoquímico, el cual requiere de poca infraestructura y por lo tanto es económico. Se utiliza agua presurizada como absorbente en contra corriente. Su base es aumentar la presión de limpieza del gas natural con el agua presurizada, y así, remueve la proporción de contaminantes ácidos de gas (incluyendo dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) que se libera del agua de lavado en una torre de arrastre con vapor o aire. El agua regenerada resultante puede ser recirculada y utilizada varias veces. Su principal desventaja es la gran potencia consumida con el bombeo y manejo de flujos de recirculación.
- Limpieza con solventes físicos: método físico en el que se usa un compuesto no reactivo que absorbe los compuestos indeseados (entre ellos el sulfuro de hidrógeno). El absorbente luego es regenerado con calor o con despresurización. Su solvente más utilizado es el dimetil éter de poli etilenglicol.
- En lecho seco: su funcionamiento se basa en que el gas agrio se hace pasar a través de un filtro que tiene afinidad por los gases ácidos y en general por las moléculas polares presentes en el gas entre las que se

encuentran también las moléculas del agua. Algunas de sus ventajas son la simplicidad, alta selectividad (solo remueve sulfuro de hidrógeno con concentraciones moderadas) y la eficiencia del proceso [6, 9, 15, 18].

3.5.2. Métodos de adsorción

Permite bajar simultáneamente el punto de rocío del agua y los hidrocarburos en una única etapa del proceso. Sus ventajas son: captura selectiva de impurezas del gas con ayuda de materiales sólidos granulados, estabilidad térmica, fácil operación, elevada selectividad en eliminación de sulfuro de hidrógeno, buena capacidad para remover humedad. Este proceso utiliza propiedades del hierro y el zinc para formar sulfuros con componentes del gas natural así como diferentes metales de transición y moléculas alcalinas soportadas en sólidos porosos. Los adsorbentes pueden ser inorgánicos, carbonáceos y mixtos. Sus desventajas es que es un proceso costoso, con alta caída de presión y requerimiento de calor. Se lleva a cabo normalmente a alta temperatura y presión. La mezcla de componentes adsorbidos se llama el adsorbato, y el sólido micro poroso es el adsorbente. Las fuerzas atractivas que mantienen el adsorbato sobre el adsorbente son más débiles que las de los enlaces químicos, y el adsorbato puede liberarse generalmente (desorbido) elevando la temperatura o reduciendo la presión parcial del componente en la fase gaseosa de una manera análoga a la separación de un componente absorbido de la solución. Cuando un componente adsorbido reacciona químicamente con el sólido, la operación se llama quimisorción y la desorción generalmente no es posible.

Entre los principales tipos de adsorción se encuentran con carbón activo, en sólidos y de balance de presión.

- En carbón activo: método que se basa en remoción por adherencia, por lo que los contaminantes de la corriente gaseosa se concentran en la superficie de un sólido poroso.
- En sólidos: método físico, en donde el dióxido de carbono es retenido en el sólido debido a las interacciones con la superficie de las partículas y su porosidad. Se trabaja en condiciones casi isotérmicas, y su operación consta de dos fases: la adsorción (se realiza a alta presión, con objeto de que la presión parcial del gas al ser capturado sea elevada) y la recuperación (se realiza a presión menos elevada en la que libera y recupera el dióxido de carbono adsorbido) la cual se puede usar adsorbentes naturales como yesos y zeolitas, aceite bituminoso de desecho, adsorbentes procesados como sílice, zeolitas y tamices moleculares, carbón, lignito o antracita. Estos procesos tienen gran interés económico, técnico y comercial. Una ventaja de

este proceso, es que puede remover dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, humedad y otras impurezas selectivamente y simultáneamente, además de que tiene un diseño simple y una fácil operación. Sus desventajas es que es un proceso costoso con altas caídas de presión y altos requerimientos de calor.

- De balance de presión: adsorción selectiva de dióxido de carbono en la superficie de un adsorbente sólido poroso, en el que se manejan elevadas presiones. Se pueden utilizar tamices moleculares (lecho empacado de material granular con propiedades especiales de adsorción las cuales varían dependiendo el tipo de gas) o lechos de carbón activado (generados químicamente en un ambiente a altas temperaturas de vapor para producir una extensa red de poros impregnados, los cuales proporcionan los sitios para adsorción física de sulfuro de hidrógeno, agua, dióxido de carbono y compuestos halogenados). Una desventaja del proceso es que es costoso [6, 9, 15, 18].

3.5.3. Método de membranas selectivas de filtración no porosas

Es considerada una tecnología relativamente nueva en el campo de la purificación de gas y su principal función es separar los componentes hidrocarburos de los no hidrocarburos a nivel molecular. Se somete a una presión diferencial, una membrana polimérica que separa compuestos como dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y agua del gas natural. La membrana polimérica está hecha de polímeros porosos y extremadamente finos y se usa solamente en procesos en los que el flujo es suficientemente grande para justificar la inversión. La ventaja de este método es la simplicidad en la operación, pero sus desventajas es que posee un costo elevado y se requiere de una presión muy alta.

- Tipo orgánicas: apropiadas para la separación de dióxido de carbono y nitrógeno (incluyen materiales derivados de la celulosa, polisulfona, poliamidas y poliimidias). Por ejemplo, las membranas cerámicas y membranas de óxidos metálicos.
- Tipo inorgánicas: químicamente estables y apropiadas para operaciones a presión elevada, son más costosas que las de tipo orgánico y no son adecuadas para la separación de dióxido de carbono de gases de combustión. Por ejemplo, las membranas metálicas [6, 9, 15, 18].

3.5.4. Separación criogénica

Proceso que tiene de ventaja la recuperación de componentes puros en forma líquida. Consiste en la separación de la mezcla de gas por condensaciones fraccionadas y destilaciones a bajas temperaturas. El gas crudo es comprimido en

múltiples etapas y se seca para evitar que se congele durante el proceso de enfriado. Sus desventajas es que es un método costoso y con requerimientos utilitarios altos [6, 9, 15, 18].

3.5.5. Fraccionamiento

Proceso de separación de líquidos del gas natural (C₃, C₄, C₅, C₆, C₇₊) en gas licuado de petróleo y gasolina natural [6, 9].

3.5.6. Steam reforming

Proceso para obtención de hidrógeno a partir de hidrocarburos principalmente del gas natural. Consta de diferentes etapas donde ocurre la reacción básica de reformado con vapor. El hidrocarburo reacciona con vapor de agua a alta temperatura para dar monóxido de carbono e hidrógeno. En sucesivas etapas, el monóxido de carbono será convertido a dióxido de carbono y la correspondiente separación de hidrógeno de la corriente de salida. El gas de carga suele ser gas natural (que puede contener azufre, el cual se elimina en un pre tratamiento previo a la entrada del proceso), el cual se mezcla con hidrógeno de reciclaje y mediante la hidro desulfuración se elimina el posible azufre que pueda contener. Luego, pasa hacia la sección de reformado en donde se produce la reacción de gas natural con vapor de agua para producir hidrógeno (reacción con exceso de vapor de agua y control estricto de temperatura). A la salida, el gas contiene cantidad importante de monóxido de carbono, que mediante un nuevo aporte con vapor de agua se produce hidrógeno (se pretende oxidar completamente el monóxido de carbono para ámbitos medioambientales); la corriente de hidrógeno y dióxido de carbono a la salida de la unidad de conversión de monóxido de carbono, se envía a un proceso que se encarga de purificar el hidrógeno y enviarlo por la red a la refinería, finalmente se consigue separar el hidrógeno del dióxido de carbono y el resto de componentes minoritarios [6, 9, 15, 18].

La unidad de hidrógeno se divide en las secciones:

- Pre tratamiento de la carga “hidro desulfuración”
- Reacción de reformado con vapor de agua
- Conversión de monóxido de carbono
- Recuperación de calor residual y generación de vapor
- Purificación del hidrógeno

3.6. CASO DE ESTUDIO: OBTENCIÓN DE OLEFINAS

Se presenta el siguiente caso de estudio, como uno de los ejemplos para obtención de uno de los tantos productos petroquímicos que podrían derivarse a partir del gas natural.

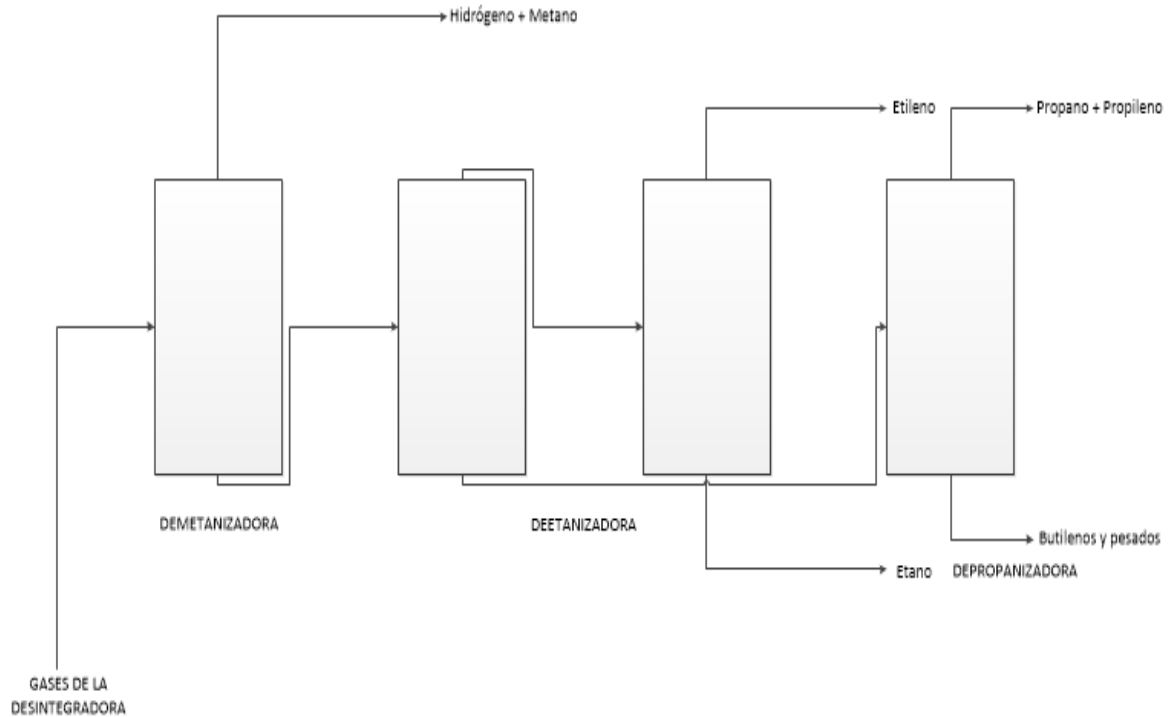
El proceso para obtención de olefinas se basa en la separación física sometiendo los gases que salen del proceso de desintegración a columnas de destilación.

Los gases provenientes de la desintegradora pasan por la primera columna de destilación “demetanizadora” en donde se extrae hidrógeno y metano por la parte superior de la columna. Los productos que salen del fondo pasan por una segunda columna “deetanizadora” en donde se separa el etano y el etileno por la parte superior para separarlos entre sí en una tercera columna. El etileno obtenido al tener una pureza entre 98-99%, sirve para fabricar óxido de etileno, pero también puede utilizarse para fabricar polietileno de alta densidad lineal y para ello se somete a otros procesos de purificación.

Los productos del fondo de la deetanizadora, se hacen pasar por una columna “depropanizadora” en donde se separa por la parte superior la mezcla de propano y propileno (de ellos puede fabricarse el tetrámero de propileno o polipropileno con otras purificaciones posteriores).

Por el fondo de la depropanizadora, se extrae la fracción que contiene olefinas (con cuatro átomos de carbono en adelante), las cuales se someten a otras separaciones que van desde pentanos, pentenos, benceno, tolueno, buteno, Isobuteno, butano, isobutano, butadieno, isopreno, entre otros [11].

Gráfica 35. Destilación fraccionada de gases de desintegradora



Fuente: MONTERO Diana. Refinación del gas natural.

3.7. RESUMEN DEL PROCESO DE REFINACIÓN DE GAS NATURAL

En este aparte se mencionaron algunos de los principales métodos que pueden utilizarse para la refinación del gas natural, falta precisar el detalle de cada uno de ellos, así de evaluar cuál de cada uno de los métodos se utiliza más hoy en día debido que realizar un estudio con mayor profundidad requiere de saber el tipo de gas de estudio, si este gas proviene directamente de yacimiento (libre o asociado a crudo) con el fin de saber si se requiere un tratamiento al gas natural previamente, o si es un gas quemado en tea. Además de que los gases provenientes de diferentes campos petroleros, suelen tener composición y características diferentes y ninguno de ellos es similar a otro. Con el presente estudio se pretende tener bases iniciales para una investigación posterior que incluya un caso de estudio y así profundizar en los métodos para la refinación.

4. IMPORTANCIA DE LA REFINACIÓN DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA

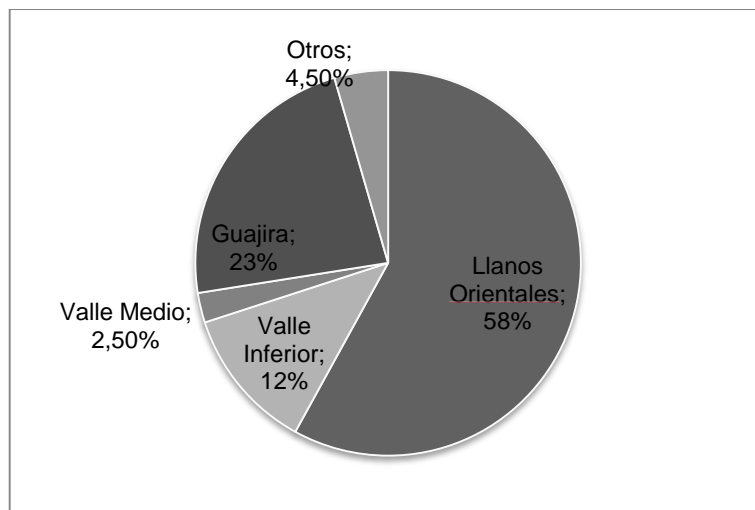
En este capítulo se tratará el tema de reservas, producción, oferta y demanda del gas natural en Colombia. El análisis se realiza en base a información del Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética y Concentra-Inteligencia en Energía para períodos comprendidos entre 2016 a 2025. Se presenta la disponibilidad del gas natural a mediano y corto plazo, así como el potencial de producción para estos años. Mediante el análisis general de la situación en Colombia referente al gas natural, se establece la importancia del proceso de refinación del gas natural en el país.

4.1. RESERVAS DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

En Colombia, las reservas probadas remanentes de gas natural se concentran en las siguientes cuencas principales: Llanos Orientales, Guajira, Valle Inferior y, Valle Medio. Conforme a información suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, alcanzaron un total de 4758,51 GPC al 31 de diciembre de 2014 [2, 20].

En la **gráfica 36**, se presenta el porcentaje de las diferentes cuencas para la distribución de reservas probadas remanentes de gas natural en el país al año 2014.

Gráfica 36. Reservas probadas de gas natural remanentes en Colombia



Fuente: MinMinas, Concentra.

De otro modo, las reservas probables se encuentran principalmente en la cuenca de la Guajira (participación del 35,7%) y conforme a información suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, alcanzaron un total de 866,41 GPC al 31 de diciembre de 2014. Las reservas posibles se concentran en su mayoría en Valle Inferior (participación del 47,7%) y Llanos Orientales (participación del 39,3%) y, de acuerdo a información suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, alcanzaron un total de 290,03 GPC al 31 de diciembre de 2014.

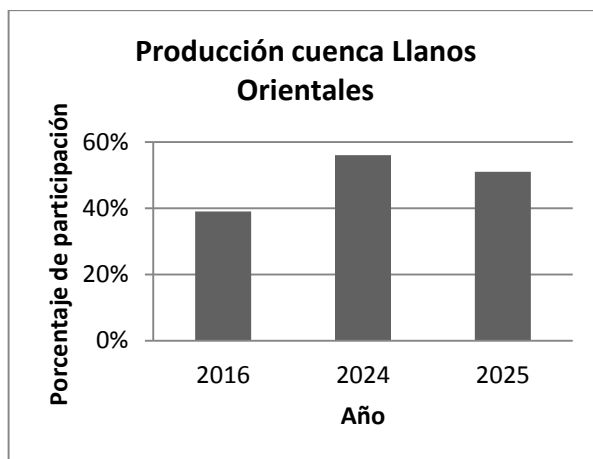
Para el año 2016, se calculó que la Relación Reservas vs. Producción sería de 8 años, lo cual quería decir que si no se mantenía la tasa de producción de ese año y no se incluían nuevas reservas para el año 2024, posiblemente comenzaría un déficit de gas natural para Colombia y se tendría que optar por la opción de importación de gas natural [2, 20].

4.2. PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL EN COLOMBIA

La mayor producción de gas natural procedió de la cuenca Llanos Orientales (campos Cusiana, Cupiagua y Floreña) con una participación del 39% para el año 2016. En el año 2024, la cuenca alcanzará la participación más alta con un 56% y para el año 2025, se muestra que su participación disminuirá a un 51%, debido al proceso natural de agotamiento del campo Cusiana [2, 20].

Gráfica 37, producción de gas natural proveniente de la cuenca Llanos Orientales para los años 2016 a 2025.

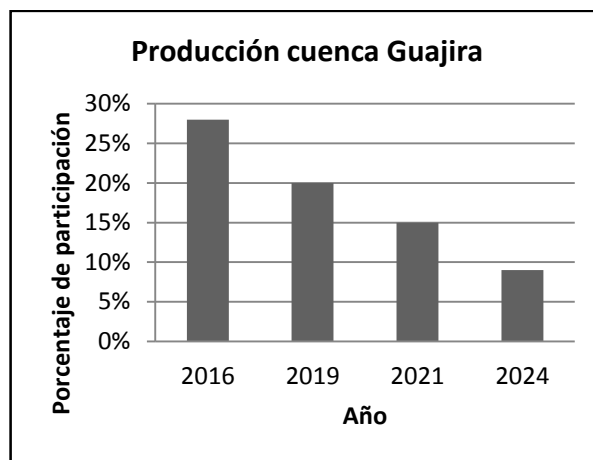
Gráfica 37. Producción de gas natural en cuenca Llanos Orientales



Fuente: MinMinas, Concentra.

Por otro lado, los campos ubicados en la cuenca de la Guajira (básicamente Chuchupa y Ballenas) mostraron una participación del 28% para el año 2016, la cual se reducirá a un 20% para el año 2019 y finalizará en el año 2024 con un 9% [2, 20].

Gráfica 38. Producción de gas natural en cuenca Guajira para los años 2016 a 2024



Fuente: MinMinas, Concentra.

En los últimos años, la cuenca Valle Inferior del Magdalena ha contado con gran participación en la oferta nacional debido al aumento de la producción en sus campos: La Creciente, Nelson, El Difícil y Clarinete.

Por otra parte, en la declaración de producción del año 2016, la empresa CALAMARI LGN S.A E.S.P, reportó la disponibilidad de 400 GBTUD de gas natural importado a través de su primer puerto de regasificación ubicado en Cartagena (se proyectó su funcionamiento desde diciembre de 2016 hasta diciembre de 2024), lo cual permitió que la cuenca del Valle Inferior del Magdalena aumentara su participación al 38% en el año 2017, y a finales del año 2024 alcanzara el 45% de la participación sobre el total nacional. Para el año 2016, se reportó la máxima capacidad de producción para el mes de enero cuando se llegó a disponer de 1366 GBTUD y añadiendo la operación del puerto de regasificación, aumentó la disponibilidad a 1726,47 GBTUD.

El resto de la oferta está dada con volúmenes menores de cuencas como Valle Superior del Magdalena, Valle Medio del Magdalena, Catatumbo y Cordillera Oriental. Mientras que los campos de la cuenca Caguán-Putumayo no declaran potencial de producción de gas natural [2, 20].

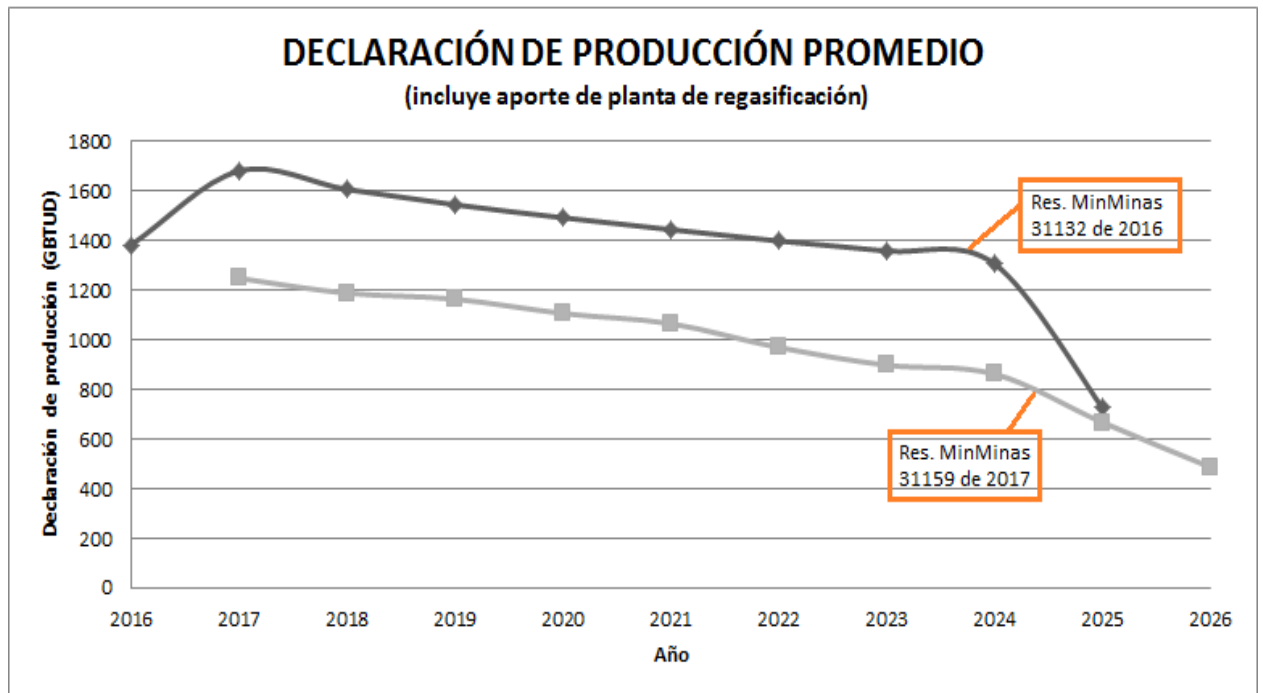
4.3. POTENCIAL DE PRODUCCIÓN

En la resolución 31159 de 2017 del Ministerio de Minas y Energía, se menciona el aumento del número de campos declarados con potencial de producción pasando de 162 campos (declarado en Resolución 31132 de 2016 de MinMinas) a 171 campos [2, 20].

Nota: la resolución no incluye el potencial de producción asociado al punto de importación del puerto de regasificación.

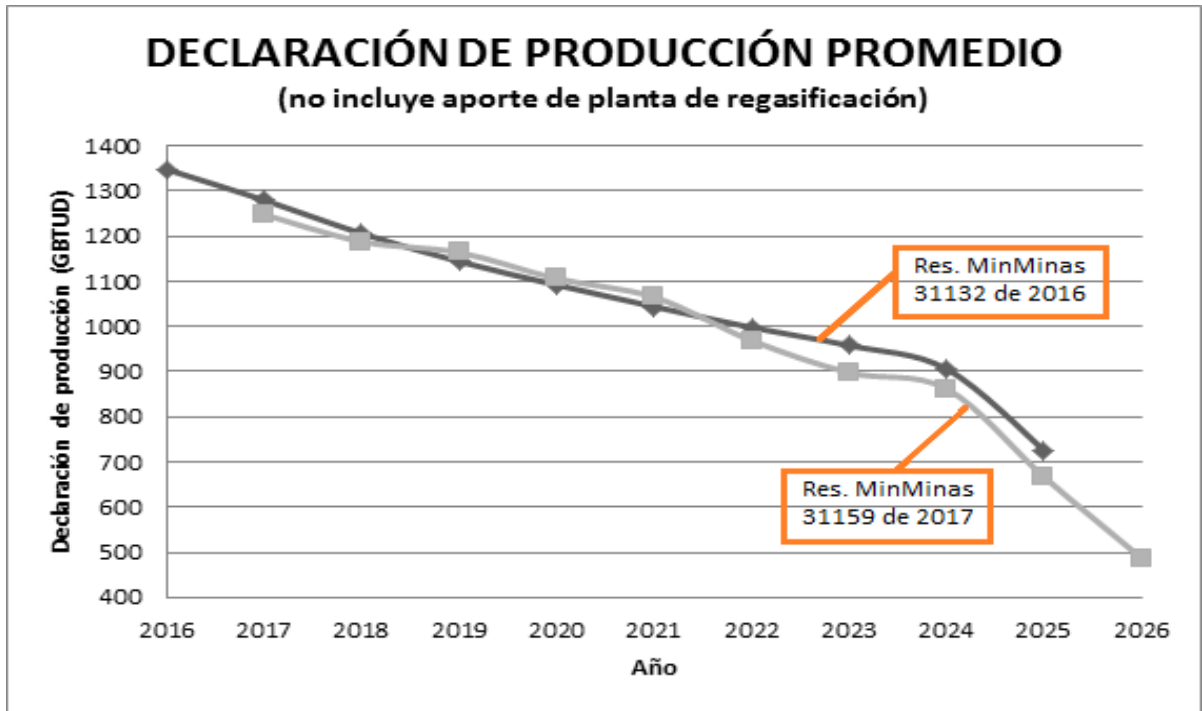
Gráfica 39, presenta la evolución de la producción nacional para períodos comprendidos entre 2017 a 2025 (incluyendo el punto de importación del puerto de regasificación).

Gráfica 39. Evolución de potencial de producción promedio (con aporte de planta de regasificación)



Fuente: MinMinas, Concentra.

Gráfica 40. Evolución de potencial de producción promedio entre 2017 a 2025 (sin aporte de planta de regasificación)



Fuente: MinMinas, Concentra.

De acuerdo a la información, durante el período 2017-2025, se presenta una diferencia promedio de 36%, la cual se debe a la inclusión del punto de importación del puerto de regasificación.

En los últimos años se mencionan descubrimientos de gas natural en costa afuera colombiana como pozo Orca-1 (ubicado en el bloque Tayrona) y Kronos (ubicado en el bloque Fuerte Norte), pero al encontrarse costa afuera, su desarrollo y puesta en marcha puede llegar a ser cercano a 6 años [2, 20].

4.4. ESCENARIOS DE OFERTA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA

La declaración de producción certificada por los agentes productores durante el año 2016, se considera como oferta base para realizar balances y conforme a eso, se han definido diversos escenarios.

- Escenario bajo: basado en la declaración de producción del año 2016 (Resolución 31132 de 2016 de MinMinas)
- Escenario medio: basado en la declaración de producción del año 2016 e importaciones de Venezuela (cantidades importantes importadas vía gasoducto desde Venezuela y declaradas por Ecopetrol y estimadas entre 39 GBTUD y 150 GBTUD)
- Escenario alto: basado en la declaración de producción del año 2016, importaciones de Venezuela y el desarrollo de reservas probables, posibles e incorporación de nuevos recursos (convencionales y no convencionales). También, se incorpora el gas proveniente de recursos “aún por encontrar” los cuales se encuentran ubicados en costa afuera y recursos no convencionales provenientes de carbón en la cuenca Cesar, Ranchería [2, 20].

4.5. ESCENARIOS DE DEMANDA DEL GAS NATURAL EN COLOMBIA (SEGÚN SECTOR)

La demanda total de gas natural se estima a partir de proyecciones individuales del gas natural en diversos sectores de consumo como residencial, comercial, petroquímico, industrial, transporte y termoeléctrico; tomando en cuenta las proyecciones según diversos sectores, se cuenta con un escenario medio que alcanza un crecimiento promedio de 2,2% por año, entre los años 2015 a 2035, pasando de 1060 GBTUD a 1707 GBTUD. Este aumento se debe a diferentes factores como el crecimiento económico, aumento de la población y la sustitución de algunos recursos energéticos por el gas natural (ya sea por su eficiencia, costo y/o disponibilidad) [2, 20].

- **SECTOR RESIDENCIAL**

El servicio de gas natural cubre a más de 7,9 millones de hogares (según proyecciones realizadas a partir de un censo del DANE en el año 2005) y mantiene un consumo promedio estable por hogar aproximado a 17 m³ mensuales (en diferentes zonas). El crecimiento de la demanda depende de factores como el crecimiento demográfico, expansión de infraestructura de transporte de gas y cobertura en las diferentes regiones del país. Las mayores tasas de crecimiento se registran en zonas Noroeste, Caldas-Quindío-Risaralda y Sureste. La región Costa se encuentra en un nivel de saturación al igual que la región Noreste. Para un escenario medio, se estima una tasa de crecimiento del sector residencial en 3,2%, debido al aumento en consumo y cobertura en regiones (como Centro, Noroeste y Suroeste).

- **SECTOR COMERCIAL**

Se considera una tasa de crecimiento promedio de 2,48% por año, entre los años 2015 a 2029. Las regiones con mayor actividad son Noreste (3,4%) y Centro (2,65%). La región con mayor contribución es Centro (50%) seguido de la Costa. Otras regiones presentan una contribución pequeña.

- **SECTOR PETROQUÍMICO**

Su demanda se concentra en la región Costa (95% de participación del total) y Noroeste (5% de participación del total). Su proyección se mantiene en 20 GBTUD.

- **SECTOR INDUSTRIAL**

Para el año 2016, el sector ocupó el segundo lugar con una participación de 28% del total, seguido por el sector eléctrico. Su demanda proyectada en escenario medio para los años 2015 a 2029 presenta un crecimiento de 2,3% por año, pasando de 262,3 GBTUD (año 2015) a 374,6 GBTUD (año 2029) con aumento de la demanda de 112,3 GBTUD. Las regiones Centro y Costa son las de mayor participación con un 60% para el año 2024.

- **SECTOR TRANSPORTE**

Para el escenario medio se proyecta que su demanda crecerá a 3,2% al pasar de 87 GTBUD (año 2015) a 135 GBTUD (año 2029). Se estima que regiones como Tolima Grande (5,1%) y Noroeste (4,6%) serán las de mayor crecimiento. Noreste (1,7%), Suroeste (1,8%) y Centro (2,1%) serán las de menores aumentos.

- **SECTOR TERMOELÉCTRICO**

Este sector depende principalmente de aportes hidrológicos y senda de expansión de la capacidad de generación eléctrica a largo plazo. Su demanda se mantendrá en aumento debido a las generaciones de seguridad (evitando contingencias en Sistemas Regionales de Transporte), en especial para la región Caribe.

4.6. IMPORTANCIA DE INCLUSIÓN DEL TEMA EN COLOMBIA

Actualmente, la refinación de gas natural es un tema que no ha surgido en el país debido al desconocimiento por entes asociados y agentes vinculados a la cadena del gas natural.

Anteriormente, se menciona por parte del Ministerio de Minas y Energía que la Relación Reservas vs. Producción apunta a una declinación del gas natural para los próximos 8 años. En mayo de 2017, se confirma el más grande hallazgo de gas

natural que permite que Colombia cuente con autosuficiencia gasífera por varias décadas.

Hallazgos como Kronos-1, Orca-1, Purple Angel-1 y Gorgón-1 muestran que el gas natural de nuestro país probablemente no tendrá una declinación fuerte ya que se compensará con estos recientes descubrimientos.

Por otro lado, el petróleo es la principal fuente para elaboración de diversos productos petroquímicos, debido a la riqueza de sus diferentes componentes que pueden generar variedad de productos a partir del proceso de refinación del crudo. Ante el aumento del precio de petróleo y la disminución de la producción petrolera, permite repensar que el gas natural será el próximo recurso energético para Colombia, debido a que se cuenta con: recientes hallazgos, es amigable con el medio ambiente (comparado con el crudo) y tiene variedad de usos en diferentes sectores (residencial, comercial, petroquímico, industrial, transporte, termoeléctrico).

Con el presente estudio, se señala en el Capítulo 1, que el gas natural puede llegarse a refinar tal como lo hace el crudo y que mediante diversos procesos, puede obtenerse variedad de derivados y productos finales (alrededor de 200 productos) que tienen amplios campos de aplicación, y pueden equilibrar la actual disminución petrolera y por ende la disminución de productos obtenidos en refinación a partir de crudo.

Por otro lado, la importancia de introducir el tema de refinación de gas natural, es que entes reconocidos en Colombia en el sector gas natural, como la Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, Consejo Nacional de Operación de Gas Natural conozcan del tema, además de sus ventajas y desventajas.

Sabiendo que los entes anteriormente mencionados, tienen entre sus funciones realizar recomendaciones en pro de buscar una operación integrada, segura, confiable para el Sistema Nacional de Transporte del gas natural, y basados en el Reglamento Único de Transporte, Resolución expedida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, se requiere un gas natural compuesto mayormente por metano que brinde una operación segura, integra y confiable en los gasoductos del país.

Reconociendo que la mayoría del gas natural en Colombia se encuentra como gas asociado, el cual contiene gran variedad de componentes a los cuales se les puede dar un diferente uso final y un mejor aprovechamiento, es momento de valorar estos

componentes y brindarles una nueva opción en otros tipos de mercado, en los que tienen un costo económico más alto y no son desechados como actualmente se realiza al quemarlo en teas.

Por otro lado, la Asociación Colombia de Gas Natural, Naturgas, menciona que una de sus funciones es que los agentes vinculados a cualquier parte de la cadena del gas natural, provean información relacionada y detallada (incluyendo el registro de estudios técnicos, económicos, ambientales y legales) que promuevan el uso del gas natural. De otro lado, proponen planes y proyectos que aseguren al desarrollo del gas natural en toda la cadena asociada al gas natural. Por lo que resulta importante estudiar con mayor profundidad el tema de refinación de gas natural ya que trae consigo ventajas para productos que actualmente no son aprovechados eficientemente y, trae beneficios a las industrias petroquímicas (tanto económicas como ambientales) al encontrar una materia prima que compita contra el crudo.

Finalmente, es importante analizar que la mayoría de gas natural encontrado en Colombia aparece como gas asociado, el cual durante el proceso de separación entre el crudo y gas, parte de ese gas es dirigido a quema en tea, el cual podría resultar beneficioso (principalmente de manera económica) si se llegara a utilizar en un posterior proceso de fraccionamiento y refinación en donde podría obtener diversos derivados a los que se les podría dar un mejor uso final.

5. CONCLUSIONES

- A pesar de que a partir de la refinación y petroquímica del gas natural puede obtenerse variedad de productos petroquímicos con diversas aplicaciones y usos con valor agregado, en Colombia no se usa apropiadamente el gas natural como materia prima.
- En la actualidad no se cuenta con avanzados estudios conceptuales de la refinación de gas natural y por tanto, no se tiene presencia de este tipo de refinería en el país.
- Se reconoce que el gas natural es un recurso energético amigable con el medio ambiente y de gran importancia para la sociedad debido a su variedad de aplicaciones en diferentes sectores, más aún en el sector petroquímico debido a su fácil acceso económico y disponibilidad de mercado.
- Debe tomarse en cuenta que el gas natural al encontrarse asociado, trae consigo hidrocarburos líquidos los cuales son productos secundarios valiosos que pueden tener gran acogida en diferentes mercados al venderse por separado debido a su variedad de usos.
- El gas natural que actualmente se quema en los campos petroleros, es una opción de aprovechamiento de un recurso energético considerado como “desperdicio”, el cual puede tratarse y disponerse para la producción de diversos productos petroquímicos, además que se controlaría y minimizaría la cantidad de emisiones al medio ambiente.
- La declaración de disponibilidad de gas natural del puerto de regasificación ubicado en Cartagena y los recientes hallazgos en Orca-1, Kronos-1, Purple Angel-1 y Gorgón-1, permite aumentar la capacidad de producción, disponibilidad y Relación de Reservas vs. Producción, con la que se prolonga el inicio de declinación del gas natural en Colombia a más de 8 años.
- El porcentaje de petróleo que actualmente se dispone para el sector petroquímico puede reajustarse con la implementación de refinerías de gas natural convirtiéndose el gas en materia prima en el sector.

6. RECOMENDACIONES

- Se requiere estudiar a mayor profundidad el tema de refinación de gas natural incluyendo al gas quemado en tea y el obtenido a partir de yacimientos (como gas libre y como gas asociado a petróleo).
- La importancia de conocer acerca del tema es una de las tareas fundamentales para entes y agentes vinculados a la cadena del gas natural ya que entre sus principales funciones se encuentra la promoción en investigación de temas que permitan mejorar la calidad del gas natural, seguridad del recurso energético entregado a usuarios finales y operación integral de cada uno de los procesos y tratamientos, además del transporte del gas natural. Algunos entes son Unidad de Planeación Minero Energética, Agencia Nacional de Hidrocarburos, Consejo Nacional de Operación Gas Natural, Ministerio de Minas y Energía, Comisión de Regulación de Energía y Gas, Naturgas.
- Se debe estudiar a mayor profundidad la opción de remplazar al petróleo por gas natural en la elaboración de productos petroquímicos.
- Debe realizarse un estudio con mayor énfasis en los diversos procesamientos en las plantas de refinerías de gas natural, teniendo en cuenta parámetros de importancia como capacidad de producción, eficiencia de la planta, tipos de productos petroquímicos deseados, demanda, oferta y precios de los productos finales, inversión, rentabilidad y beneficios generados a partir de las refinerías de gas natural.
- Se debe realizar un estudio que de acuerdo a la información de reservas y producción del gas natural en Colombia, permita revisar que procesos y métodos son los más apropiados para los tipos de gas más representativos para el país (Cusiana, Cupiagua, Llanos Orientales, entre otros).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BARBERII Efraín. El pozo ilustrado. Caracas, Venezuela. 1998. 671 p.
- [2] CONCENTRA, Inteligencia en Energía. Declaración de producción de gas natural 2017. 2017. 62 p.
- [3] DIAMANTE DE ORIENTE, Redes de gas, obras civiles, metalmecánica. Gas Natural. Disponible en Internet, URL: <http://diamantedeoriente.com/135/gas-natural-2/>
- [4] ECOPETROL. Refinación del gas natural. Disponible en Internet, URL: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/refinacion>
- [5] GRASYS. Eliminación del hidrógeno sulfurado del flujo de gas. Moscú. Disponible en Internet, URL: <http://www.grasys.com/es/products/gas/hydrocarbon/sulfide/>
- [6] KOHL Arthur, NIELSEN Richard. Adaptado a español. Purificación del gas natural. Gulf Publishing Company. Quinta edición. Houston, TEXAS. 1997. 1414 p.
- [7] LECTRODRYER, Adsorption Technology experts since 1932. Refinación del gas natural. Disponible en Internet, URL: <http://www.lectrodryer.com/refinacion-de-gas-natural>
- [8] LLANEZA Herminio, MORÍS María Antonia, GONZÁLEZ AZPÍROZ Lola, GONZÁLEZ Elisabet. Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás. Universidad de Oviedo, PROTECMA, CESPA. España: PSE PROBIOGAS. 2010. 28 p.
- [9] MOKHATAB, Saeid, POE William, SPEIGHT James. Handbook of natural gas transmission and processing. Gulf Professional Publishing, Elsevier. 485.506 p.
- [10] MONTERO Diana. Refinación del gas natural. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Valencia Núcleo Naguanagua. Valencia, Venezuela. 2011. 88 p.
- [11] MORERO Betzabet del Valle. Purificación de biogás con tecnologías de producción limpias. Trabajo de Doctorado en Tecnologías Químicas. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería Química. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química. 2014. 233 p.

[12] MORERO Betzabet, GROPELLI Eduardo, CAMPANELLA Enrique. Revisión de las principales tecnologías de purificación de biogás. Argentina. Universidad Nacional del Litoral. Ciencia y tecnología. 2010. 187-201 p.

[13] PEÑA Miguel. Producción de hidrógeno a partir de gas natural. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC). Madrid, España. 47 p.

[14] POLO Carlos. Refinación y transporte de petróleo, gas y derivados. Caracterización ocupacional. Bogotá, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje. 2000. 82 p.

[15] SAAVEDRA LÓPEZ Johnny. Técnicas experimentales de alta capacidad aplicadas al desarrollo de nuevos materiales catalizador/adsorbente para su utilización en la desulfuración del gas natural. Trabajo de tesis doctoral en Ingeniería Química. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Ingeniería Química y Nuclear. Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC). 2011. 82 p.

[16] SÁNCHEZ ALARCÓN Juan Antonio, OLIVER PUJOL Ramón, ESTRANY CODA Francesc. Planta para la recuperación del dióxido de carbono de los gases de combustión. Barcelona, España. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Barcelona. 2006. 7 p.

[17] SCRIBD. CUPARE GONZÁLEZ Leidimar. El gas natural como materia prima en la industria petroquímica. Venezuela. 20 p. Disponible en Internet, URL: <https://es.scribd.com/doc/111528346/Gas-Natural-como-Materia-Prima-Petroquimica>

[18] SILICA, Adsorption Technology from Design to Turnkey Plant. Purificación de gas natural. Berlín, Alemania. Disponible en Internet, URL: <http://www.silica.berlin/es/purificaci%C3%B3n-de-gas-natural.html>

[19] SO Ángel, VALDÉZ SALAS Benjamín, SCHORR WIENER Michael, CARRILLO BELTRÁN Mónica, RAMOS IRIGOYEN Rogelio, CURIEL ÁLVAREZ Mario. Materiales y corrosión en la industria de gas natural. Barcelona, España: OmniaScience. 2013. 87-102 p.

[20] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA Y MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Balance de gas natural en Colombia 2016-2025. Colombia. 2015. 33 p.