

UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PROCESOS DE LICUEFACCIÓN DE GAS.

Dubraska Rodríguez de Da Silva¹

¹Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria, Caracas-Venezuela.
Móvil: +58 (424) 119.89.18, e-mail: dubra13@gmail.com

Sub-Tema 3: La Innovación en Investigación y Desarrollo.

Resumen

En el Marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, evaluar la energía y su obtención desde el punto de vista de las tecnologías de licuefacción de Gas Natural (GN) más importantes a nivel mundial específicamente con los procesos ConocoPhillips y Linde. Ambos, evaluados con base en la termodinámica, el calor y su capacidad para producir trabajo por medio de los modelos "Cascada" y el Sistema de Mezclas de Refrigerantes (SMR-Linde). Con el uso del software computacional HysysV7.1. Bajo condiciones ideales, con el Modelo Termodinámico Peng-Robinson. La composición de la mezcla para Linde, corresponde a 10% (Metano) CH₄ 10% (Etileno) C₂H₄ y 80% (Propano) C₃H₈. Parámetros termodinámicos flujo másico a la entrada (Estado Gaseoso) y salida (Estado Líquido a 3.000 Psia) de cada sistema, 1, 2 y 3 (Millones de Toneladas por Año) MTPA, P=3.000 Psia, T=95°F. Finalmente, se validaron condiciones termodinámicas de funcionamiento y Coefficient of Performance (COP). Resultado tecnología ConocoPhillips, óptimo desde el punto de vista de eficiencia energética, (COP Cascada 0,3307, al obtener 1 MTPA CH₄_Líquido, P= 3.000 Psia y T= 95°F). Proceso Linde (COP Linde 0,1335, bajo igualdad de condiciones termodinámicas). Cascada superior al 50% -para 1 y 2 MTPA- y -3 MTPA- más de un 40%.

PALABRAS CLAVE: Energía, Sustentabilidad, Tecnologías Licuefacción CH₄.

Abstract

In the Frame of the Aims of Sustainable Development, to evaluate the energy and obtaining from the point of view of the technologies of liquefaction of Natural Gas more important (GN) worldwide specifically with the processes ConnocoPhillips and Boundary. Both, evaluated on base in the thermodynamic one, the heat and aptitude to produce work by means of the models "Cracked" and the System of Mixtures of Cooling (SMR-Linde). With the use of the computational software HysysV7.1. Under ideal conditions, with the Thermodynamic Model Peng-Robinson. The composition of the mixture for Boundary, corresponds to 10 % CH₄ 10 % C₂H₄ and 80 % C₃H₈. Thermodynamic parameters considered flow másico at the entry and exit (Liquid State to 3.000 Psia) of every system for 1, 2 and 3 MTPA, P=3.000 Psia, T=95°F. Finally, there validated thermodynamic conditions of functioning and Coefficient of Performance (COP). The result corresponds to the technology ConocoPhillips, ideally from the point of view of energy efficiency, (Cracked COP 0,3307, on having obtained 1 MTPA CH₄_Líquido, P = 3.000 Psia and T = 95°F) overcoming to the process Adjoin (COP dimensionless, 0,1335, under equality of thermodynamic conditions) superior to 50 % - for 1 and 2 MTPA - and-3 MTPA - more than 40 %.

KEY WORDS: Energy, Sustainability, Liquefaction CH₄

Introducción

La necesidad de enfocarse en licuar Gas Metano, nació en la UNEXPO Caracas, de la idea del fallecido Profesor Pablo Rodríguez[†], quien con base en su vasta experiencia, comentó en las entrevistas realizadas, (Rodríguez P. , 2009-2010) de las necesidades a nivel mundial respecto a licuefacción del Gas Natural y debido a que es el componente del gas natural en mayor porcentaje, por su poder de Gas de Efecto Invernadero (GEI), con un potencial de calentamiento global es el segundo GEI más importante, contribuyendo con un 16% al cambio climático global (Subcomité de Petróleo y Gas Natural. Mexico, 2009), así como una valiosa fuente de energía limpia. En tal sentido, investigadores en Venezuela tales como (Durán, Arnone, & Baldés, 2009), (Baldes, Viggiani, & Rodriguez, 2014), (Di Scipio, Rodríguez, Salazar, & Trigilio, 2014) y a nivel mundial (Khan, Lee, Rangaiah, & Lee, 2013) - (Pereira, Handaya S, & Kartohardjono, 2014), (Qyyum, Van Duc Long, Le, & Lee, 2017) y más recientemente (Tianbiao, Iftekhar A, & Yonglin, Available online 13 January 2018), marcan pautas en este tipo de investigaciones al proponer mejoras y “posibles soluciones”, para las capacidades de licuefacción para Plantas a nivel mundial como por ejemplo “Timor LNG”, citado por (Pereira & Lequisiga, 2014) al evaluar dos Procesos de Licuefacción. La idea de esta pesquisa, enfocada en el subtema **Sub-Tema 3: La Innovación en Investigación y Desarrollo**, se fundamentó en la oportunidad de realizar un trabajo de ascenso al tiempo de seguir con los aportes realizados a la línea de Investigación “Sistemas de Licuefacción de GAS” de la Dirección de Investigación y Postgrado de la UNEXPO Caracas (DIP UNEXPO).

1.1 Objetivos de la Investigación

1.1.1 **Objetivo General**

Analizar la evolución del coeficiente de operación en función del metano líquido obtenido como producto en procesos de licuefacción de gas. Caso de estudio: Cascada vs. Linde.

1.1.2 **Objetivos Específicos**

- ✚ Simular mediante el uso del software HYSYS V7.1 los procesos de licuefacción estudiados, modificando las condiciones de operación, de manera que el caudal de metano líquido obtenido se estudie en el rango comprendido entre 1, 2 y 3 MTPA, pudiendo presentarse valores superiores.
- ✚ Graficar el comportamiento del coeficiente de operación en función de la masa de metano líquido obtenida.

Marco Referencial con base en La Creatividad en Investigación y Desarrollo para procesos de Licuefacción de Gas.

1.1.3 **Tendencias Curriculares de la Educación Superior.**

Las instituciones de educación superior en Venezuela (UNEXPO-USB-UCV-LUZ-UNEFA, entre otras), se encuentran inmersas en situaciones de

profundos de análisis y reflexión debido a las exigencias que enfrenta la sociedad por los cambios significativos en su entorno, el conocimiento en sus distintos saberes se transforma cada vez más, en un factor decisivo y determinístico para la inserción a un mundo globalizado y a un mercado internacional inestable, donde el intercambio de capital humano¹, de bienes materiales y bienes culturales, se ha convertido en una necesidad primordial de la sociedad de estos días. Es por ello que, se considera oportuno reflexionar sobre la pertinencia académica (Centeno Silva, 2017).

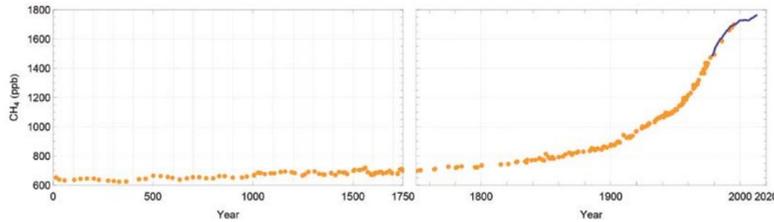
“La pertinencia de la educación superior debe evaluarse en función de la adecuación entre lo que la sociedad espera de las instituciones y lo que éstas hacen. Ello requiere normas éticas, imparcialidad política, capacidad crítica y al mismo tiempo, una mejor articulación con los problemas de la sociedad y del mundo de trabajo, fundando las orientaciones a largo plazo en objetivos y necesidades sociales, comprendidos el respeto de las culturas y la protección del medio ambiente. El objetivo es facilitar el acceso a una educación general amplia y también a una educación especializada y para determinadas carreras, a menudo interdisciplinaria, centrada en las competencias y aptitudes, pues ambas preparan a los individuos para vivir en situaciones diversas y poder cambiar de actividad” (Yarzabal, 1999, pp. 153-154, citado por (Lorenzana Flores, 2012)).

El tema en estudio se enfoca en todas las aristas de la mencionada PhD, la universidad como casa matriz del conocimiento, debe contar con docentes y profesionales, capaces de orientar a los ciudadanos estudiantes, en las orientaciones a largo plazo de los objetivos desde el punto de vista prospectivistas que deben seguir las sociedades, principalmente para fomentarse en culturas que ermitan mejorar el medio ambiente, desbastado por la globalización, al tiempo de preparar a estos individuos con investigaciones que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos.

1.1.4 CH₄ y su relación con las Emisiones de GEI.

La sustitución del carbón y del petróleo por el gas es necesaria para reducir las emisiones de gas de efecto invernadero de aquí a 2030, así lo comenta (Lloret Bassecourt, 2015), presenta su interés por disminuir el CH₄, en el ambiente y el CO₂. Debido a que el metano ocupa el segundo lugar entre los Gases de Efecto de Invernadero (GEI) que producen las actividades humanas, siendo superado sólo por el dióxido de carbono (CO₂). El CH₄ es 21 veces más eficaz que el CO₂ para atrapar el calor de la atmósfera, con una vida atmosférica relativamente corta de aproximadamente 12 años.

¹ Theodore Schultz a principios de 1960. Se define como: “(...) las habilidades, talentos y conocimientos productivos de un individuo...” (Throw, 1978: 11, citado por (Lorenzana Flores, 2012)).



Gráfica 1.- Aumento de la concentración de metano en la atmósfera desde la era pre-industrial.

Fuente: Tomado de IPCC, citado por (Manrique, 2013).

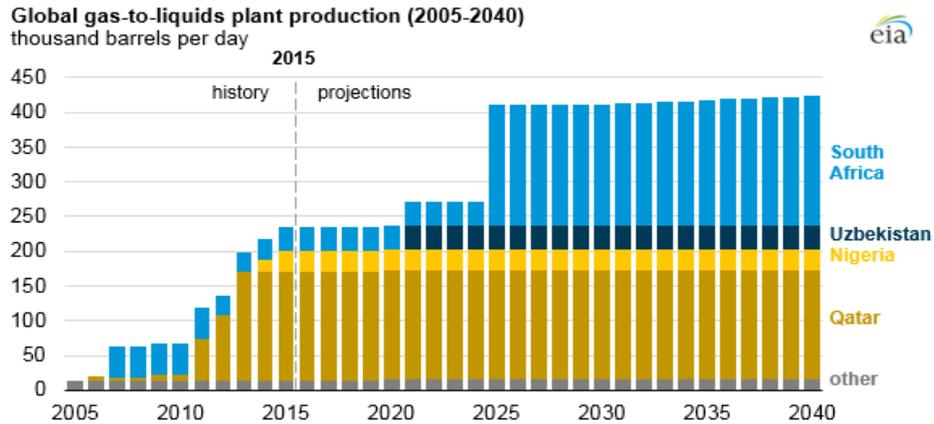
Reducir CH_4 será eficaz, cuando de mitigar el calentamiento global en el corto plazo se trate, como se trabaja en la actualidad con el CO_2 , considerando las proyecciones al 2030. Con la finalidad de contribuir con la búsqueda de una solución para evitar que aumente la presencia de CH_4 en la atmósfera, en estado gaseoso, disminuyendo su volumen al transformarlo al estado líquido (Durán, Diseño de un Sistema Criogénico Multietapas que emplee un Refrigerante Binario., 2009) y rentabilidad económica para un país. Siguiendo lo expuesto por estos autores y en especial por (Cáceres Graziani, 2002), las investigaciones han sido y deben ser enfocadas, en el aprovechamiento del CH_4 , debido a la gran variedad de usos, destacando principalmente que sirve como combustible en actividades industriales, al tiempo de servir como combustible en las plantas térmicas generadoras de electricidad.

1.1.5 Licuefacción de Gases en Venezuela.

El aprovechamiento y la transformación de la energía es la perspectiva en la que se debe enfocar Venezuela (Energía Asequible y No Contaminante. Objetivo de Desarrollo Sostenible. (Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo , 2018) y con el tema de licuefacción de algunos GEI, que se encuentran en la naturaleza en estado gaseoso, que contaminan al ambiente (CO_2 y CH_4 , entre otros), se transforman al estado líquido para su almacenaje, distribución y usos, a fin de no contaminar la atmósfera, a continuación, se presenta una línea de tiempo en la cual se evidencia el avance en materia de licuefacción del gas. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (International Gas Union, 2015).

Recientemente hay estudios científicos como el de los profesores (Fairén, 2018) antiguo alumno de la Universidad de Alicante (UA) e investigador en la Universidad de Cambridge; Joaquín Silvestre Alberó, del Departamento de Química Inorgánica de la UA, y Jin Chong Tan, de la Universidad de Oxford, al culminar con el desarrollo de un material, conocido como MOFs, que es capaz de almacenar el doble de CH_4 (Alicante, 2018), a menor presión, en la búsqueda de mejora respecto a la eficiencia, el precio y la seguridad. Debido a que las proyecciones a nivel mundial, Gráfica 2, señalan que Sur América, Qatar y Nigeria entre otros, lideran la comercialización del Gas en materia de plantas de producción de gas a líquidos. Para licuar gases, se debe contar con patentes y licencias tecnológicas, que a nivel mundial, son utilizadas para mayor referencia (Castillo , Nadales, González, Dorao,

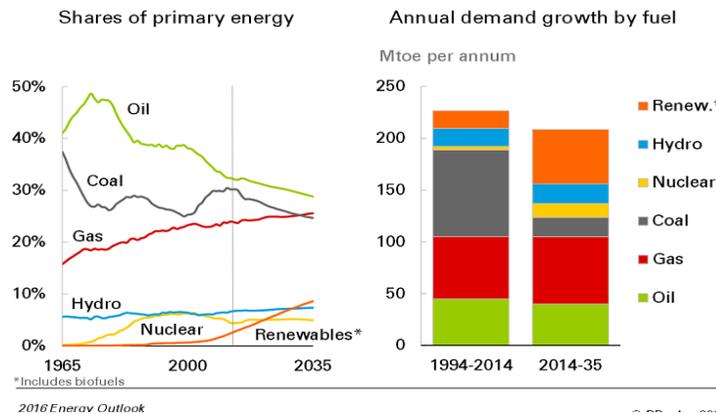
& Vitoria, 2010), presentaron dicha información en la XIX Convención Internacional del Gas AVPG (2010). Caracas-Venezuela, mientras (Di Scipio, Rodríguez, Salazar, & Trigilio, 2014), hacen lo propio con temas similares como el análisis de sensibilidades.



Gráfica 2.- Proyecciones al 2040, respecto a las plantas de producción Gas a Líquido

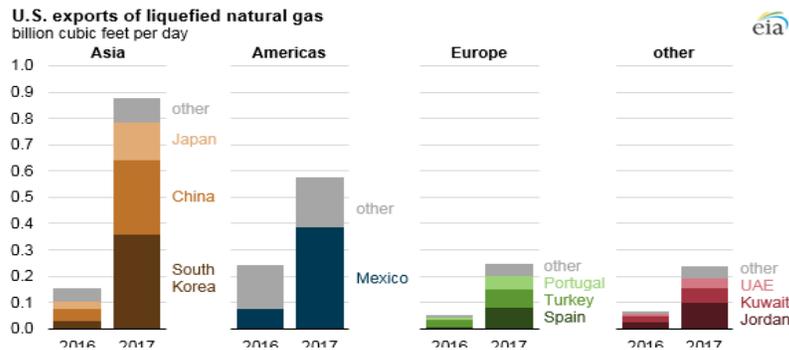
Fuente: International Energy Outlook 2017 disponible en línea: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=33192>

Investigaciones a nivel internacional, se enfocan, en la generación de nuevos conocimientos aplicables en la industria (Pereira & Lequisiga, 2014), en la UNEXPO Caracas, UCV y la USB, en Venezuela, se robustecen investigaciones, en pro de la pertinencia universitaria, (Centeno Silva, 2017), apalancados en proyecciones que reflejen, para las próximas generaciones el desarrollo de nuevas tecnologías a nivel mundial, a través del aprovechamiento del capital natural del planeta. (Energy Outlook, 2016) Gráfica 3. Considerando que para el año 2035, la energía del Gas toma la segunda posición, luego del petróleo, el cual va en disminución, mientras que México marca la pauta en las exportaciones en América. Gráfica 4.



Gráfica 3.- Proyecciones Energéticas al 2035.

Fuente: Tomado de Energy Outlook, 2016.



Gráfica 4.- Exportaciones Mercado del Gas Natural Licuado al 2017 EIA.

Fuente: Tomado de U.S. Energy Information Administration, Natural Gas Monthly. Disponible en línea: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35512>, 2016

Venezuela, debe fortalecer el mercado gasífero, debido a:

- 1) Según Informe (Petróleos de Venezuela, 2016), la producción de Gas Natural en el ámbito nacional se ubicó en un volumen correspondiente a “7,926 MMPCD”, el cual fue destinado “**Al Consumo Interno**”.
- 2) La fuente reseñada, la empresa de Producción Social Directa Comunal (EPSDC), trabaja en la puesta en marcha de nuevos servicios para distribuir GLP, indican, que lo distribuido en la actualidad corresponde a un **16%** que beneficia aproximadamente a 1.218.578 hogares. Existe una necesidad del **84%** que debe ser atendido con avances tecnológicos al 2016.

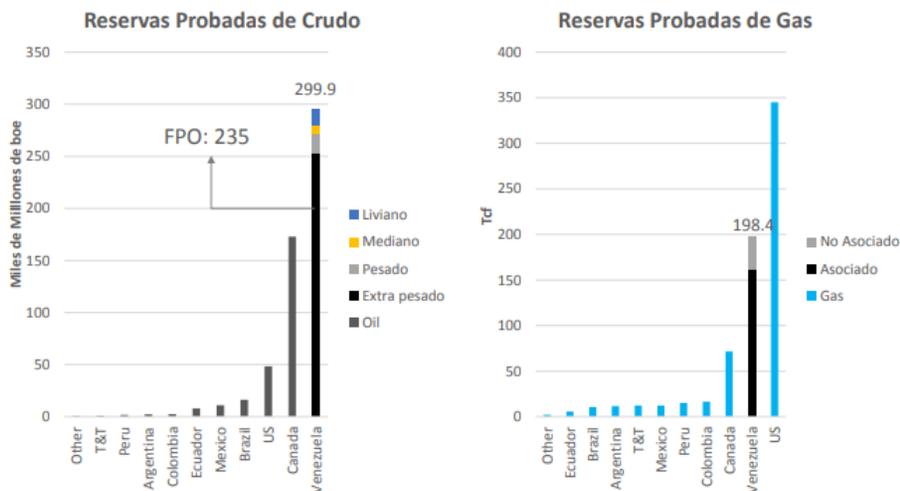


Ilustración 1.- Reservas Probadas de Petróleo y Gas Natural en el mundo.

Fuente: Tomado de (Level, 2016)

(Gutiérrez del Cid), señala que de acuerdo a lo indicado por BP Statistical Review of Energy de todo el **gas exportado mundialmente hasta el 70% se transporta por gasoducto y menos del 30% por barco de forma licuada** Sin embargo, a largo plazo, Rusia como mayor potencia de gas en el planeta podría influir de la misma forma que la OPEP a nivel mundial, lo cual no se considera un futuro, muy lejano (2020 y 2030), de acuerdo con lo indicado por (Kolocsanyi, 2009). Como Argelia, ya es capaz de exportar en GNL y con Egipto, Qatar e Irán y de aquí es que nace el tema de las licencias tecnológicas, debido a que (Gutiérrez del Cid), cita a Strategic Forecasting, 2008 y considera que escenarios conservadores, señalan, que la demanda de importación del GN de la UE, logrará alcanzar aproximadamente 400 Billones de metros cúbicos para el año 2030. Lo cual es posible, con tecnología de punta, con empresas que tienen el conocimiento de la actividad de licuefacción a nivel mundial. (Durán, 2009), lo condensa en pocas palabras el “Know How! De la Tecnología”.

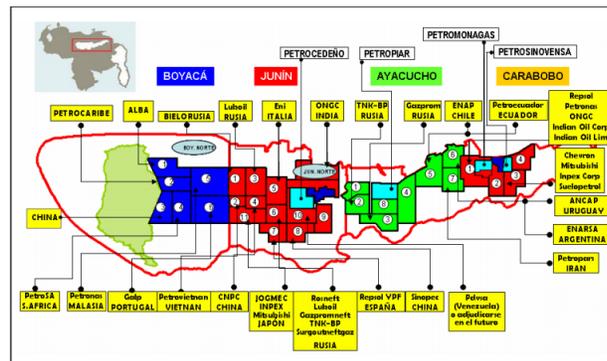


Ilustración 2.- Representación General de La Faja Petrolífera del Orinoco.

Fuente: (Gómez & Pérez, 2010)

Con base en lo expuesto por AVPG, en el año 2006, señaló que la empresa ONGC de la India, dio inicio a las operaciones (Gómez & Pérez, 2010) en la Faja Junín Norte, para la exploración, extracción, recolección, transporte y almacenamiento de crudo y gas natural asociado en el Campo San Cristóbal.

1.1.6 Criterios Selección de Tecnologías en materia de Licuefacción de Gases.

Conocer el estado del arte en materia de licencias tecnológicas para la licuefacción del Gas, tal como lo propone en su tesis (Lloret Bassecourt, 2015), es indispensable debido a los avances tecnológicos que van en aumento. Debido a la variedad de licencias en materia de licuefacción, instaladas en la actualidad, es necesario conocer las bondades de los procesos y los factores que de ellos derivan, para seleccionar una tecnología de acuerdo a las necesidades, considerando el impacto económico que de ellas proviene. Para tener una idea de los niveles (datos, valores) que se manejan para la obtención del gas en forma líquida, (International Gas Union, 2015), menciona que plantas como la de Arzew (República Argelina

Democrática y Popular, Norte del mar Mediterráneo) posee una capacidad aproximada de 0.89 Millones de Toneladas de GNL por Año. (MTPA). En la actualidad, instalaciones de GNL trabajan en aras de aumentar, por lo menos a 30 veces más grandes, apoyado por mejoras de tecnologías e infraestructura

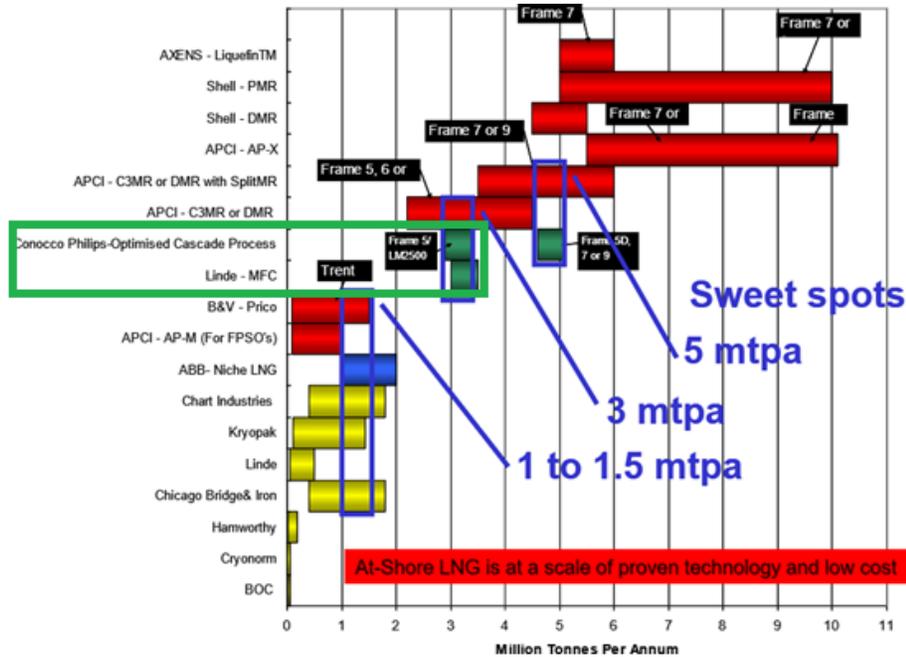


Ilustración 3.- Rango de Capacidades de Licuefacción para diversas Tecnologías.

Fuente: (Sullivan, 2016)

Tabla 1.- Resumen Principales Proyectos de Licuefacción de Gas Natural en el Mundo, con estimados para el año 2020.

Planta	País	Año de arranque	Capacidad nominal (MMTMA)	N° de Trenes	Tecnología propuesta
Pluto LNG	Australia	2010	8,6	2	Shell C3-MR
EG LNG T2	Guinea Ecuatorial	2012	4,4	1	POCP
NIOC LNG	Irán	2010+	10,0	2	Linde-Statoil MFC
Persian LNG	Irán	2011	16,0	2	Shell DMR
Pars LNG	Irán	2011+	10,0	2	Axens Liquefin
NLNG SevenPlus	Nigeria	2010	8,4	1	Shell PMR
Brass LNG	Nigeria	2011	10,0	2	POCP
Atlantic LNG T6	Trinidad y Tobago	2010+	5,2	1	POCP
Qatar Gas 3 & 4	Qatar	2010+	7,8	2	APCI AP-X
Perú LNG	Perú	2010	4,0	1	APCI C3-MR
Angola LNG	Angola	2012	5,2	1	POCP
Venezuela GNL	Venezuela	2014+	14,1	3	PDVSA-Linde MFC3

Fuente: (Castillo , Nadales, González, Dorao, & Vilorio, 2010)

1.1.7 Programas Computacionales para Simular Procesos de Licuefacción de Gases.

Simular, es reproducir artificialmente un fenómeno o las relaciones entrada-salida de un sistema, siempre cuando la operación o la experimentación en él son, costosas, peligrosas o poco prácticas. (Chacón, 2017), define la simulación como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias, son utilizados en las diferentes industrias del sector con el que se involucra este trabajo de ascenso (Petróleo y Química). Se presenta una gran variedad a nivel comercial desde libres (Coco), hasta los que requieren el pago de licencias y paquetes, así como actualizaciones. Tal como se muestra en la Ilustración 4.

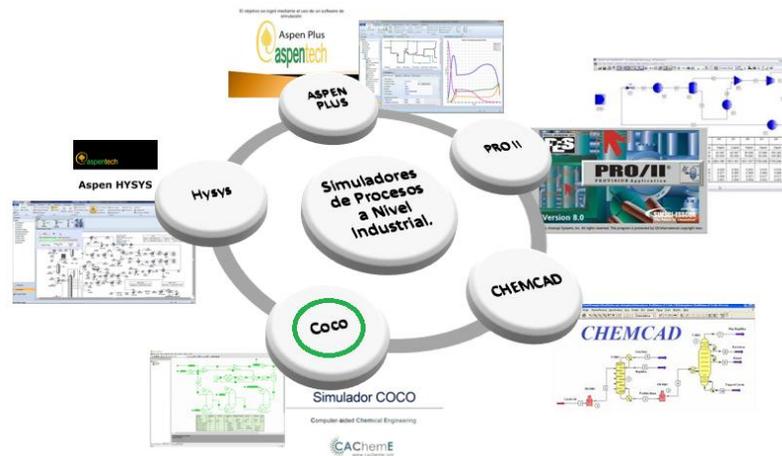


Ilustración 4.- Diferentes Simuladores Comerciales utilizados en la Industria Petro-Química.

Fuente: Adaptado de (Chacón, 2017)

1.1.8 Enfoque Termodinámico para un Proceso de Licuefacción.

¿Cómo interpretar un resultado en términos de "la" temperatura, presión, flujo másico, transferencia de calor, cambio de fase, cruces de temperaturas, entre otros aspectos termodinámicos que puedan afectar un sistema? Termodinámicamente, se puede desarrollar de varias maneras, según (Martínez Negrete, 1996), es importante el enfoque, en un planteamiento histórico se puede enfatizar la aparición de los conceptos (temperatura, energía, entropía, calores específicos, constantes, energía interna, reacción, etc.). Es por ello que el investigador, el alumno, el lector, debe enfocarse termodinámicamente en el tema planteado, estableciendo las "Reglas del Juego", es decir, los parámetros iniciales, necesidades, incertidumbres, hipótesis que permitan tener una observancia eficaz, eficiente y efectiva, durante el desarrollo de la investigación. Siguiendo lo expuesto por (Pham, y otros, 2016), al establecer las variables de decisión y acciones de diseño **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

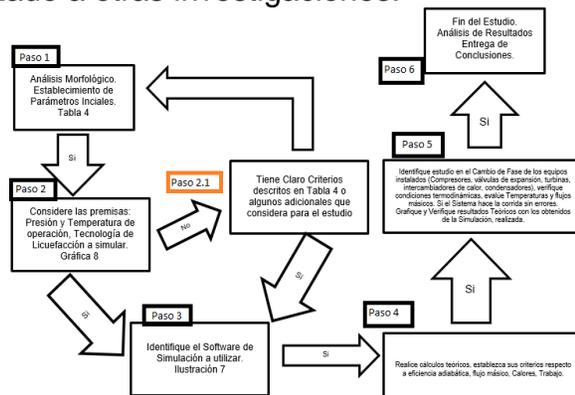
Tabla 2.- Conversión de Unidades.

lbm/hr	Kg/seg	MTPA	MMPCND
251.574,65	31,698	1,0	180
503.149,30	63,396	2,0	360
754.723,95	95,094	3,0	539
1.006.298,60	126,792	4,0	719
1.257.873,25	158,489	5,0	899
1.257.873,25	158,489	5,0	899
1.509.447,90	190,187	6,0	1079
1.761.022,55	221,885	7,0	1258
2.012.597,20	253,583	8,0	1438
2.264.171,85	285,281	9,0	1618
2.515.746,50	316,979	10,0	1798
3.773.619,79	475,468	15,0	2696
5.031.493,05	633,958	20,0	3595
6.289.366,32	792,447	25,0	4494

Fuente: Adaptada de (Yi, Trigilio, & Di Scipio, 2014), (Pereira & Lequisiga, 2014), (Repsol, 2013)

1.1.9 Flujoograma de la Metodología utilizada.

Adaptado, lo presentado por (Andrade, 2014), el flujoograma presentado pretende, ilustrar una metodología aplicada para el presente trabajo, con la visión que pueda ser adaptado y/o utilizado a otras investigaciones.



Esquema 1.- Propuesta Flujoograma para la Evaluación de Condiciones Operacionales en Procesos de Licuefacción de Gas.

Fuente: Adaptado de (Andrade, 2014).

1.1.10 Análisis Morfológico.

Método analítico-combinatorio -prospectivo-, cuya autoría se le asume en el año de 1969 por Fritz Zwicky, un astrónomo del California Institute of Technology (Caltech), de acuerdo con lo indicado por (Zwicky, 1969), citado por (Villacis Pazos, 2014). De acuerdo al análisis morfológico realizado, se resumen los resultados obtenidos en

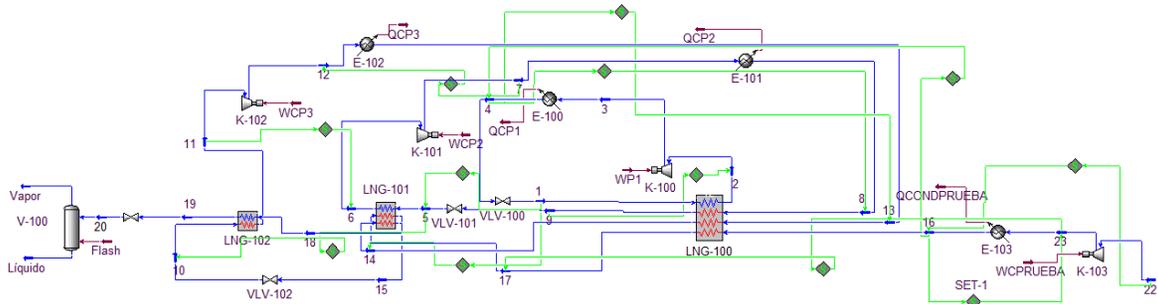
Tabla 3.- Propuesta Análisis Morfológico.

ANÁLISIS MORFOLÓGICO															
Item	Tema	Año	Autor (es)	Aspectos Termodinámicos						Método para el Cálculo de las Densidades de Líquidos 60°F. / doi	Tipo Publicación	Software Simulación	Refrigeration Proseses	Gas a Licuar	
				P (Operación)	T	Ecuación de Estado	Cap. Inicial	Cap. Futura.	T Final						
1	Comparación de Procesos para Licuefacción de Metano, variando el Refrigerante.	Nov-14	(Baldes, Viggiani, & Rodríguez, COMPARACIÓN DE PROCESOS PARA LA LICUEFACCIÓN DEL METANO VARIANDO EL REFRIGERANTE, 2014)	16 (Psia)	99,5 ° F	Peng-Robinson		S/I	- 260 ° F	American Petroleum Institute API	Congreso Art. PO-21	Pro-II / 2007	Cascade	GN	
				20 (Psia)	95 ° F	Peng-Robinson		S/I	- 260 ° F	American Petroleum Institute API			Linde	CH ₄	
2	Thermodynamic Analysis for Liquefaction of Gas natural Using the C3-MR Refrigeration Proseses	Ene-14	(Pereira, Handaya S., & Kartohardjono, 2014)	40 (Bar)	30 ° C	Peng-Robinson	5 MTPA	20 MTPA	- 162 ° C	DOI:10.7763/IJC EA.2014.V5.343	International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol 5, N° 1, Febrary 2014	ASPEN HYSYS	C3-MR	GN	
3	Knowledge based decision making method for the selection of mixed refrigerant systems for energy efficient LNG processes	Article history: Received 5 March 2013 Received in revised form 4 June 2013 Accepted 8 June 2013	(Khan, Lee, Rangaiah, & Lee, 2013)	50 (Bar)	32 ° C	Peng-Robinson / Lee-Kesler (para Entalpías)	1 Kg/hr	S/I	- 162 ° C	http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.010	www.elsevier.com/locate/apenergy	Aspen Hysys™ simulator	C3MR Y SMR	GN	
4	Technical Evaluation of C3-MR and Cascade Cycle on Natural Gas Liquefaction Process	December 2014	(Pereira & Lequisiga, 2014)	40 (Bar)	30 ° C	Peng-Robinson			S/I	- 162 ° C	DOI:10.7763/IJC EA.2014.V5.427	International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol 5, N° 6, December 2014	ASPEN HYSYS	C3MR Y CASCADE	GN
5	Aplicación del Co ₂ como Refrigerante Puro en un Ciclo en Cascada similar al Proceso Phillips® para Licuefacción de Gas Natural	Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 29, N° 1, pp. 57-64, 2014	(YI, TRIGILIO, & DI SCIPIO, 2014)	41 (Bar)	12 ° C	Peng-Robinson / Soave-Redlich-Kwong	63,38 Kg/seg		S/I	- 162 ° C	American Petroleum Institute API	Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 29, N° 1, pp. 57-64, 2014	Pro-II / 2007	Cascade	GN
	Análisis de la Evolución del Coeficiente de Operación en Función del Metano Líquido Obtenido como Producto en Procesos de Licuefacción de Gas. Caso De Estudio: Cascada similar al Proceso Phillips® en Comparación con el Proceso Linde para Licuefacción de Gas Metano	2018	Rodríguez, Dubraska Tutor: Ing. Viggiani, P. UNEXPO	16 Psia	95 ° F	Peng-Robinson	63,38 Kg/seg 2 MTPA 360 MMPCD	1,2 y 3 MTPA 360 MMPCD	-260 °F 162 °C 111,1 °K	N/A	Trabajo de Ascenso	ASPEN HYSYS VERSION 7.1	CASCADE Vs. LINDE	CH ₄	

1.1.11 Vista Simulaciones. Software Hysys V7.1

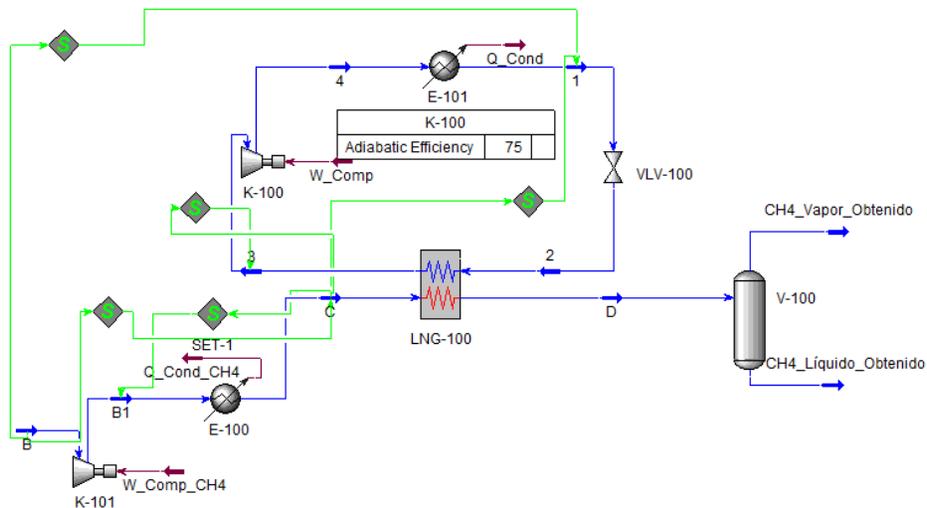
Las simulaciones realizadas con el software Hysys adoptadas para el caso estudio.

Ilustración 5.- Simulación para Evaluación con Tecnología Cascada ConocoPhillips.



Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

Ilustración 6.- Simulación para Evaluación con Tecnología Linde.



Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018

(Moein, y otros, 2015), realizan consideraciones relacionadas con el estudio del efecto en la temperatura, en los sistemas de licuefacción. Adaptando el análisis descrito a los casos Cascada y Linde, con base en los criterios considerados también por (Di Scipio, Rodríguez, Salazar, & Trigilio, 2014), se decidió considerar el efecto de la temperatura como otro criterio operacional para evaluar el COP Vs. flujo másico obtenido.

Tabla 4.- Resultados obtenidos de los procesos Linde y Cascada a 3.000 Psia / T=59°F / 95°F / 131°F / 1, 2 y 3 MTPA.

Condiciones Entrada al 1° IC: 3.000 Psia / T=59°F. (Linde: 80% C3H8; 10% C2H4; 10% CH4)											
Flujo_Másico_E/S		Flujo_Másico_CH4_L_O				Q_Total		W_Total		COP_Sist	
		Linde (3.000 Psia)		Cascada (3.000 Psia)		Linde	Cascada	Linde	Cascada	Linde	Cascada
MTPA	lbm/hr	lbm/hr	MTPA	lbm/hr	MTPA	BTU/hr		BTU/hr		Adimensional	
1	251.574,65	251.574,65	1,00	156.840,52	0,62	2,44E+07	7,70E+07	2,17E+08	3,31E+08	0,1121	0,2326
2	503.149,30	503.149,30	2,00	294.425,32	1,17	3,66E+07	1,35E+08	4,28E+08	6,29E+08	0,0854	0,2140
3	754.723,95	754.723,95	3,00	441.637,98	1,76	7,31E+07	1,92E+08	6,52E+08	9,26E+08	0,1121	0,2074

Condiciones Entrada al 1° IC: 3.000 Psia / T=95°F. (Linde: 80% C3H8; 10% C2H4; 10% CH4)											
Flujo_Másico_E/S		Flujo_Másico_CH4_L_O				Q_Total		W_Total		COP_Sist	
		Linde (3.000 Psia)		Cascada (3.000 Psia)		Linde	Cascada	Linde	Cascada	Linde	Cascada
MTPA	lbm/hr	lbm/hr	MTPA	lbm/hr	MTPA	BTU/hr		BTU/hr		Adimensional	
1	251.574,65	251.574,65	1,00	251.574,65	1,00	1,77E+07	1,10E+08	2,36E+08	3,34E+08	0,1335	0,3307
2	503.149,30	503.149,30	2,00	503.149,30	2,00	6,63E+07	1,90E+08	5,26E+08	6,21E+08	0,1259	0,3058
3	754.723,95	754.723,95	3,00	754.723,95	3,00	8,28E+07	2,73E+08	7,65E+08	9,12E+08	0,1083	0,2996

Condiciones Entrada al 1° IC: 3.000 Psia / T=131°F. (Linde: 80% C3H8; 10% C2H4; 10% CH4)											
Flujo_Másico_E/S		Flujo_Másico_CH4_L_O				Q_Total		W_Total		COP_Sist	
		Linde (3.000 Psia)		Cascada (3.000 Psia)		Linde	Cascada	Linde	Cascada	Linde	Cascada
MTPA	lbm/hr	lbm/hr	MTPA	lbm/hr	MTPA	BTU/hr		BTU/hr		Adimensional	
1	251.574,65	251.574,65	1,00	251.574,65	1,00	3,46E+07	1,13E+08	2,69E+08	4,22E+08	0,1287	0,2682
2	503.149,30	503.149,30	2,00	503.149,30	2,00	6,91E+07	2,24E+08	5,37E+08	9,02E+08	0,1287	0,2488
3	754.723,95	754.723,95	3,00	754.723,95	3,00	1,04E+08	2,87E+08	8,06E+08	1,17E+09	0,1287	0,2448

Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

Se observa que el efecto de la temperatura incide directamente en la mezcla de refrigerantes en los procesos, los parámetros correspondientes a las temperaturas.

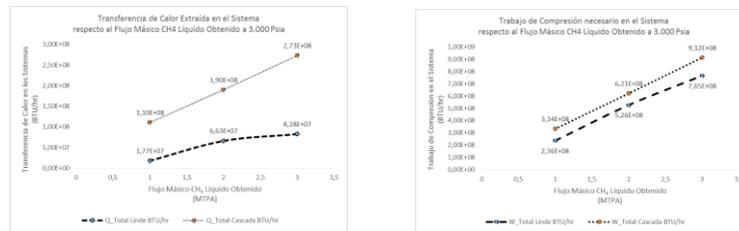


Ilustración 7.- Representación gráfica valores obtenidos en los Procesos Linde y Cascada HysysV7.1.

Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

Posteriormente, se decidió evaluar, a la presión mínima para licuar encontrada por (Rodríguez D. , 2014), para observar los valores correspondientes al COP. De los datos obtenidos, se observó, que el COP en el Caso de Linde, no supera el valor de 0,1, respecto al arreglo diseñado. En el Caso de la Tecnología ConocoPhillips, se observa que hay un incremento en el COP, al aumentar el flujo másico de gas a licuar en el sistema.

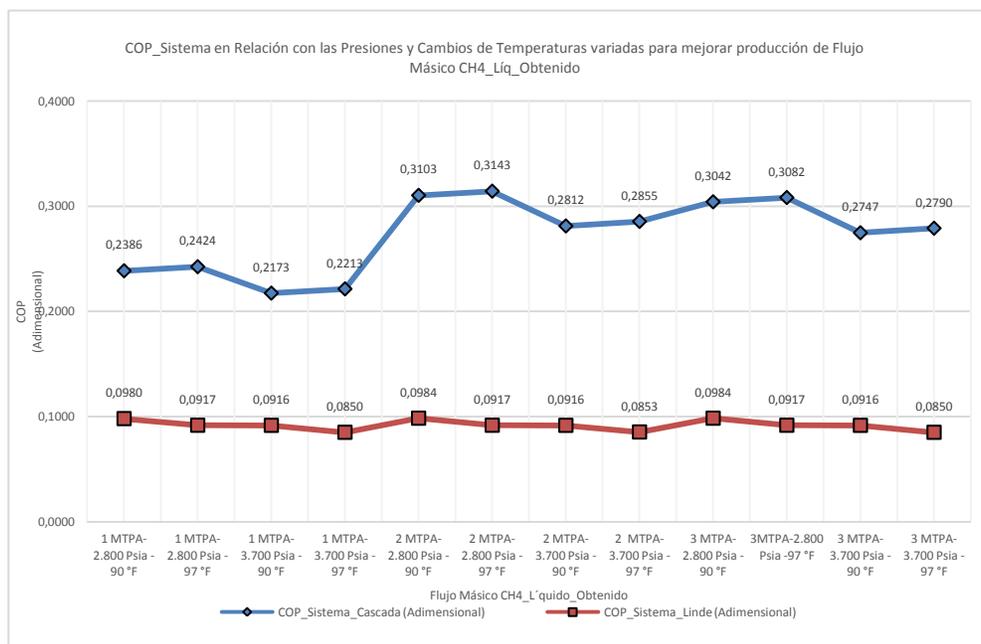
Tabla 5.- Análisis de Evolución del COP variando Presiones (2.800 y 3.700 Psia) y Temperaturas respecto al Flujo Másico CH₄_Líquido Obtenido desde 1, 2 y 3 MTPA. Tecnología Linde.

Linde	Flujo Másico CH ₄ _Líquido Obtenido											
	1				2				3			
	2.800		3.700		2.800		3.700		2.800		3.700	
Presión (Psia)	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700
COP_Sistema (Adimensional)	0,0980	0,0917	0,0916	0,0850	0,0984	0,0917	0,0916	0,0853	0,0984	0,0917	0,0916	0,0850
Temp Entrada al Sistema (°F)	90	97	90	97	90	97	90	97	90	97	90	97
Temp Entrada al Sistema (°C)	32	36	32	36	32	36	32	36	32	36	32	36

Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

Tabla 6.- Análisis de Evolución del COP variando Presiones (2.800 y 3.700 Psia) y Temperaturas respecto al Flujo Másico CH₄_Líquido Obtenido desde 1, 2 y 3 MTPA. Tecnología Cascada.

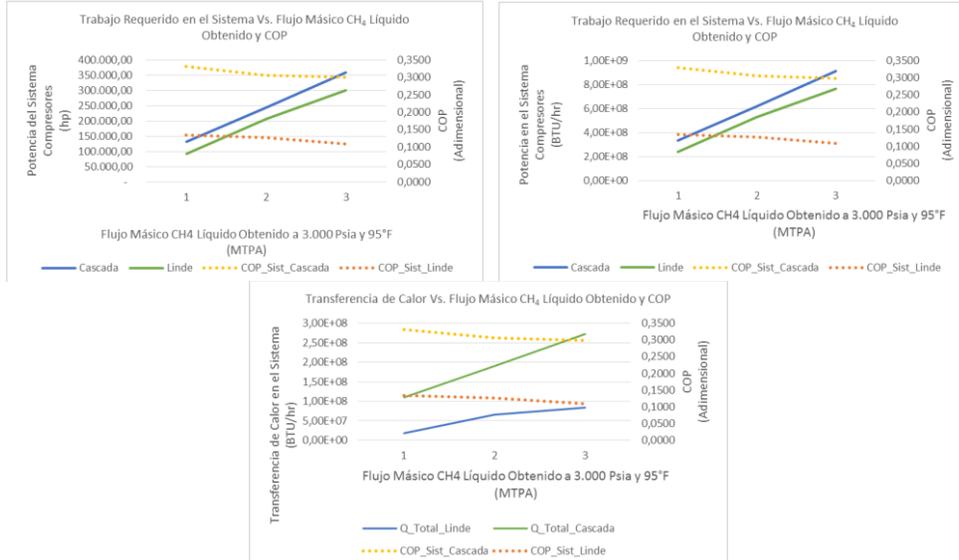
Cascada	Flujo Másico CH ₄ _Líquido Obtenido											
	1				2				3			
	2.800		3.700		2.800		3.700		2.800		3.700	
Presión (Psia)	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700	2.800	3.700
COP_Sistema (Adimensional)	0,2386	0,2424	0,2173	0,2213	0,3103	0,3143	0,28119	0,2855	0,3042	0,3082	0,2747	0,2790
Temp Entrada al Sistema (°F)	90	97	90	97	90	97	90	97	90	97	90	97
Temp Entrada al Sistema (°C)	32	36	32	36	32	36	32	36	32	36	32	36



Gráfica 5.- COP_Sistema en Relación con las Presiones y Cambios de Temperaturas variadas para mejorar producción de Flujo Másico CH₄_Líquido Obtenido.

Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

1.1.12 Análisis y Planteamiento de Gráficas obtenidas en función de la evolución del COP en función del Flujo Másico CH₄ Líquido Obtenido.



Gráfica 6.- Resumen Transferencia de Calor, Trabajo y su relación con el COP y el Flujo másico de CH₄ líquido Obtenido.

Fuente: Aspen Hysys V 7.1, 2018.

Conclusiones

Al simular con el uso del software HYSYS V7.1 los procesos de licuefacción estudiados, una de las condiciones termodinámicas que se deben tomar en cuenta corresponden a la temperatura en los intercambiadores de calor, identificados con las letras LNG, las presiones a la entrada del sistema y el flujo másico que se desea licuar. Con respecto a la evolución del coeficiente de operación, para el caso de estudio, el COP que resultó mejor corresponde a la tecnología ConocoPhillips, superando al sistema Linde en un 56%, para 1 y 2 MTPA y supera respectivamente el 46% para el caso 3 MTPA. Respecto a los equipos instalados en sistemas y/o procesos de licuefacción, radica en el Intercambiador de Calor (LNG) y su capacidad para la transformación de la energía. Es por ello que, se puede concluir de conforme a lo estudiado en otros procesos por (Wahid, Qyyum, Qadeer, & Lee, Energy optimization for single mixed refrigerant natural gas liquefaction process using the metaheuristic vortex search algorithm, 2017), en que el Intercambiador de cambiador está directamente directamente relacionado con el balance energético del sistema.

Referencias Bibliográficas.

- Aboites, V., & Aboites, G. (2018). Science and the physical world according to W.T. Stace. *Valenciana*, 187-205.
- Aguiar Rodriguez, E., & Álvarez Majmutov, A. (2007). Síntesis Evolutiva de Procesos para la Licuefacción de Metano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química (AMIDQ)*, 81-88.
- Alicante. (Marzo de 2018). *Alicante Noticias*. Obtenido de <http://www.diarioinformacion.com/alicante/2018/01/14/investigadores-alicante-oxford-cambridge-logran/1977311.html>
- Andrade, T. (2014). *OTIMIZAÇÃO DE CICLOS DE REFRIGERAÇÃO PARA A PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL LIQUEFEITO*. CAMPINAS. Obtenido de http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266096/1/Andrade_ThallesAllan_M.pdf
- Baldes, J. (2009). *Evaluación de un Proceso de Refrigeración Criogénica en Cascada para la Licuefacción del Gas Metano*. Dirección de Investigación y Postgrado UNEXPO, Caracas. Recuperado el 2013-2014- 2017-2018
- Baldes, J., Viggiani, P., & Rodriguez, D. (2014). COMPARACIÓN DE PROCESOS PARA LA LICUEFACCIÓN DEL METANO VARIANDO EL REFRIGERANTE. *Memorias del I Congreso Venezolano de Gas Natural, Venezuela, 25-28 Noviembre, 2014*, (págs. Artículo N° PO-21). Porlamar.
- Cáceres Graziani, L. (2002). *EL GAS NATURAL*. Callao: Corporación Aceros Arequipa S.A. Obtenido de http://bvs.minsa.gob.pe/local/GOB/990_AUTOR27.pdf
- Cao, L., Jinping, L., & Xu, X. (2015). Robustness analysis of the mixed refrigerant composition employed in the single mixed refrigerant (SMR) liquefied natural gas. *Elsevier*, 1155–1163. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.072> 1359-4311/© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved. Applied Thermal Engineering 93 (2016) 1155–1163 Contents lists available at ScienceDirect
- Cao, W. s., Lu, X. S., Lin, W. S., & Gu, A. Z. (2005). Parameter comparison of two small-scale natural gas liquefaction processes in skid-mounted packages. *Elsevier Ltd.*, 898–904. doi:10.1016/j.applthermaleng.2005.09.014
- Carrasco Banda, N. N. (2017). Simulación de Procesos de Gas Natural con Aspen Hysys V10. *Curso Online. Caso: Proceso Optimizado en Cascada ConocoPhillips*. Perú.
- Castillo , L., Nadales, R., González, C., Dorao, C., & Vilorio, A. (2010). Selección de Tecnologías para Proyectos de Gas Natural Licuado (GNL). *XIX Convención Internacional del Gas AVPG 2010*. Caracas.
- Centeno Silva, R. (2017). *APROXIMACIÓN SISTÉMICA A LA GESTIÓN DEL CONFLICTO ENTRE AUTONOMÍA Y CONTROL EN LA INVESTIGACIÓN ACADÉMICA UNIVERSITARIA*. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

- Chacón, E. (2017). Simulación de Procesos en la Industria Petrolera. *Clases Magistrales en la DIP UNEXPO Caracas*. Caracas, Distrito Capital: Venezuela.
- Di Scipio, S., Rodríguez, A., Salazar, A., & Trigilio, A. (Diciembre de 2014). Simulation and sensitivity analysis of a natural gas liquefaction cycle. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 37(3). Recuperado el Enero de 2018
- Diaz Sanchez, R. A. (2016). Termodinámica: Notas de Clase. Colombia. Recuperado el Abril de 2018, de <http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/fisica/Documentos/termodinamica.pdf>
- Durán , G., Rodriguez De Da Silva, D., & Serafín, M. (2014). Propuesta de Criterio para la Evaluación de Sistemas Criogénicos considerando Atributos Múltiples. *I Congreso Venezolano de Gas Natural, Venezuela*. Porlamar.
- Durán, G. (2009). *Diseño de un Sistema Criogénico Multietapas que emplee un Refrigerante Binario*. Caracas. Recuperado el 2013-2014-2017-2018
- Durán, G., Arnone, V., & Baldés, J. (2009). Evaluación de Refrigerantes Binarios para su Uso Potencial en la Licuefacción de Gas Metano. *7th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. San Cristóbal, Venezuela.
- EIA Qatar Oil Market Overview. (2016). EIA Qatar Petróleo Visión general del mercado. *EIA Qatar Oil Market Overview*. Obtenido de <http://www.bunkerportsnews.com/News.aspx?ElementId=87772d6c-30ae-4c8e-af59-c26bd8f2a207>
- Energy Outlook. (2016). *Energy Outlook*.
- EspañolFácil. (Abril de 2018). *redaccion.weebly.com*. Obtenido de <http://redaccion.weebly.com/antropoacutepico-antropoacutegenico-antropoacutenico.html>
- Etimologíasdechile.net. (2016). *Etimologíasdechile.net*. Obtenido de <http://etimologias.dechile.net>
- GEA. (2016). APC-U OIL & GAS, BOLOGNA.- LNG Mini, Small and Medium scale. BOLOGNA. Obtenido de https://www.gea.com/en/binaries/LNG-Presentation_tcm11-33982.pdf
- Gómez, N., & Pérez, N. (2010). *Boletín Informativo de la asociación Venezolana de Procesadores de Gas*. Caracas. Recuperado el 2018, de <http://www.venezuelagas.net/documents/infogas17.pdf>
- Greenfacts.org. (Marzo de 2018). *Greenfacts.org*. Obtenido de <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/antropogenico.htm>
- Guoqiang, L., Yuting, W., Yejiang, Z., Ruiping, Z., Jingfu, W., & Chongfang, M. (2017). Performance Study on a Single-Screw Expander for a Small-Scale Pressure Recovery System. *Energies*, 10(6), 1-14. doi:10.3390/en10010006
- Gutiérrez del Cid, A. T. (s.f.). *La seguridad energética de la Unión Europea en el contexto del reposicionamiento geopolítico de Rusia*. Obtenido de <https://revistadigital.sre.gob.mx/images/stories/numeros/n89/03gtzdelcid.pdf>

- Herrera, O. (2017). *Presentación disponible en línea*. Obtenido de <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/fisicoquimica/wp-content/uploads/2011/09/Segunda-y-tercera-ley-de-la-termodin%C3%A1mica.pdf>
- Instituto Colombiano del Petróleo. (2014). Metodología para la Identificación y Cuantificación de Emisiones Fugitivas de Metano en Campos de Producción. *Instituto Colombiano del Petróleo. Ecopetrol*.
- International Gas Union. (2014). International Gas Union, "World LNG report - 2014 edition," International Gas Union, Tech. Rep., 2014.
- International Gas Union. (2015). 2012 – 2015 Triennium Work Report June 2015. 26th World Gas Conference in Paris, France. *26th World Gas Conference in Paris, France*, (págs. 1-43).
- Khan, M., Karimi, I. A., & Lee, M. (2015). Evolution and optimization of the dual mixed refrigerant process of natural gas liquefaction. *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.092>
- Khan, M., Lee, S., Rangaiah, G., & Lee, M. (2013). Knowledge based decision making method for the selection of mixed refrigerant systems for energy efficient LNG processes. *Elsevier*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.06.010>
- Kolocsanyi, J. (2009). RUSIA Y LA SEGURIDAD ENERGÉTICA DE EUROPA. *XX Simposio Electrónico Internacional 2009 – RUSIA Y EL ESPACIO POSTSOVIÉTICO POLÍTICA INTERNACIONAL, SOCIEDAD, CULTURA, ECONOMÍA*. Obtenido de *XX Simposio Electrónico Internacional 2009 – RUSIA Y EL ESPACIO POSTSOVIÉTICO POLÍTICA INTERNACIONAL, SOCIEDAD, CULTURA, ECONOMÍA*: http://www.ceid.edu.ar/biblioteca/2009/julius_kolocsanyi_rusia_y_la_seguridad_energetica_de_europa.pdf
- Kornelik, K. (2017). TECNOLOGÍAS, INGENIERÍA, INNOVACIONES. *HOBATЭК приобрел технологию сжижения газа для развития арктических проектов*. Rusia.
- Level, A. (2016). Faja Petrolífera del Orinoco: Situación y Proyecciones. Caracas, Venezuela. Obtenido de Material preparado para la UCAB.
- Lloret Bassecourt, P. (2015). *Estado de la Tecnología la Cadena de Valor del Gas Natural: aplicaciones a nuevos productos y servicios*. . Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53239/LLORET%20-%20ESTADO%20DE%20LA%20TECNOLOG%20EN%20LA%20CADENA%20DE%20VALOR%20DEL%20GAS%20NATURAL%20APLICACIONES%20A%20NUEVOS%20P...pdf?sequence=1>
- Lorenzana Flores, R. I. (2012). La evaluación de los aprendizajes basada en competencias en la enseñanza universitaria. *Doktor der Philosophie*. Honduras.
- Manrique, V. (2013). Ciencia básica de los efectos del metano sobre el cambio climático. *Innovación*. Obtenido de

- http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu9/3_Efectos_del_Metano.pdf
- Marshall, A. (2018). The Fantasy Method of Urban Design. *DiseñA*, 12, 312-323. doi:doi:10.7764/disena.12.312-323
- Martínez Negrete, M. (1996). *Termodinámica y Epistemología*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de https://rmf.smf.mx/pdf/rmf/42/3/42_3_488.pdf
- Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., & Dave, L. (2007). *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Informe del Grupo de Trabajo III - Mitigación del Cambio Climático*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Obtenido de https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/es/contents.html
- Moein, P., Sarmad, M., Ebrahimi, H., Zare, M., Pakseresht, S., & Zandieh Vakili, S. (2015). APCI- LNG single mixed refrigerant process for natural gas liquefaction cycle: Analysis and optimization. *Elsevier*, 470-479. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2015.06.040
- Molina, E. (2015). *OPTIMIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE UNA MEZCLA REFRIGERANTE PARA LA LICUEFACCIÓN DE GAS METANO USANDO EL ALGORITMO DE KHAN*. Dip UNEXPO - Caracas, Caracas.
- Molina, E. J., Rodríguez de Da Silva, D., Serafín, M., & Viggiani, P. (6 de Julio de 2015). *OPTIMIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE UNA MEZCLA REFRIGERANTE PARA LA LICUEFACCIÓN DE GAS METANO USANDO EL ALGORITMO DE KHAN*. *Plectere: Comunicaciones en Ingeniería, Gestión y Educación*(Depósito Legal ppi20152DC4629). Recuperado el 2018
- Molina, E., Rodríguez de Da Silva, D., Serafin, Manuel, & Viggiani, P. (2015). Optimización de la Composición de una Mezcla de Refrigerante para la Licuefacción del Metano usando el Algoritmo de Khan. *Plectere*.
- Moon, J. W., Lee, Y. P., Jin, Y. W., Hong, E. S., & Chang, H. M. (2007). Cryogenic Refrigeration Cycle for Re-Licuefaction of LNG Boil-Off Gas. *Cryocooler 14.*, 629-635.
- Müller, E. (2002). *Termodinámica Básica*. Caracas: Consultora Kemiteknik C.A.
- Municipios Remedios, Caibarién y Camajuaní. República de Cuba. (2009). *Disminución de las emisiones de metano a la atmósfera mediante el uso de biodigestores tubulares de polietileno en el manejo del estiércol del ganado porcino*. República de Cuba.
- Nguyen, T., Rothuizen, E. D., Elmegaard, B., & H Bruun, A. (2016). Techno-economic optimisation of three gas liquefaction processes for small-scale applications. *Proceedings of ECOS 2016: 29th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*. PORTOROŽ, SLOVENIA.
- Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo . (Abril de 2018). *Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/sdgs>
- Oil & Gas Journal. (2015). *Oil & Gas Journal*.

- Passamai, V. J. (2009). *TERMODINÁMICA BÁSICA*.
- Pereira, C., & Lequisiga, D. (December de 2014). Technical Evaluation of C3-MR and Cascade Cycle on Natural Gas Liquefaction Process. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(6).
- Pereira, C., Handaya S, A., & Kartohardjono, S. (February de 2014). Thermodynamic Analysis for Liquefaction of Natural Gas Using the C3-MR Refrigeration Process. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(1). Recuperado el 2018
- Petroleos de Venezuela. (2016). *PDVSA Annual Report*. Caracas. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/357881892/PDVSA-Annual-Report-2016>
- Pettersen, J. (2006). Introduction to LNG Technology. *Statoil Research and Technology*. Trondheim, Noruega.
- Pham, T. N., Khan, M. S., Minh, L. Q., Husmil, Y. A., Bahadori, A., Lee, S., & Lee, M. (2016). Optimization of modified single mixed refrigerant process of natural gas liquefaction using multivariate Coggin's algorithm combined with process knowledge. *Elsevier*, 731-741. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.006>
- Pham, T., Van Duc Long, N., & Lee, S. (2016). Enhancement of single mixed refrigerant natural gas liquefaction process through process knowledge inspired optimization and modification. *Elsevier*, 1230-1239. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.043>
- Pwaga, S. (2011). *Sensitivity Analysis of the Proposed Liquefaction Processes for LNG FPSO*. Noruega.
- Qyyum, M. A., Van Duc Long, N., Le, Q., & Lee, M. (2017). Design optimization of single mixed refrigerant LNG process using a hybrid modified coordinate descent algorithm. *Elsevier*, 131-140. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2017.12.005>
- Raj, R., Suman, R., Ghandehariun, S., Kumar, A., & Tiwari, M. (2016). A techno-economic assessment of the liquefied natural gas (LNG) production facilities in Western Canada. *Elsevier*, 140-152. Recuperado el 2018, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138816301278>
- Repsol. (2013). Tabla de Conversiones. Madrid, España. Obtenido de http://memorias.repsol.com/memoria2012/downloads/pdf/es/informeAzul/Ta_bla_conversiones.pdf
- Rodriguez de Da Silva, D. (2014). *Evaluación Tecnológica de un Proceso con Refrigerantes Mezclados para la Licuefacción de Gas Metano*. Caracas. Recuperado el 2014 al 2018
- Rodriguez de Da Silva, D., Durán, G., Pietterz, F., & Serafin, M. (2015). *Línea de Investigación "Sistemas de Licuefacción Gas"*. Caracas.
- Rodriguez, E. (2016). *EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE OXÍGENO COMO REFRIGERANTE EN LA ETAPA DE PRE-ENFRIAMIENTO A UN PROCESO EN CASCADA PARA LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL*. Dirección de Investigación y Postgrado UNEXPO Caracas, Caracas.

- Rodriguez, G., Arias, F., Quintas, M., Trigilio, A., & Di Scipio, S. (2014). SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE UN CICLO DE LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL EN CASCADA USANDO MEZCLAS DE REFRIGERANTES BAJO CONDICIONES TROPICALES. / *Congreso Venezolano de Gas Natural*, (págs. Artículo N° PO-13). Porlamar, Venezuela.
- Serafín, Manuel;. (1993). *Apuntes Termodinámica*. Caracas.
- Silva Alvarado, E. A. (2012). *DOCPLAYER*. Obtenido de <http://docplayer.es/1481122-Simulacion-de-intercambiadores-de-calor-diseno-de-redes-de-intercambio-calorico-y-estimacion-de-costos-usando-aspen.html>
- Suárez , T. (2005). *Principios de la Termodinámica*. Mérida. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16744/termoquimica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Subcomité de Petróleo y Gas Natural. Mexico. (28 de enero de 2009). *Perspectiva General de la Asociación Metano a Mercados – Sector de Petróleo y Gas Natural. Taller de Transferencia de Tecnología Subcomité de Petróleo y Gas Natural*. Monterrey, México, México.
- Sullivan, P. (2016). Floating LNG: Origins and Future Impact on the LNG Industry. *Worley Paersons. Reseources & Energy*, 1-27.
- The La'o Hamutuk Bulletin. (Agosto de 2008). Cooperation in Health between Timor-Leste and Cuba. *The La'o Hamutuk Bulletin, Vol. 9*(No. 2). Recuperado el 2017, de <https://www.laohamutuk.org/Bulletin/2008/Aug/bulletinv9n2.html>
- Tianbiao, H., Iftekhar A, K., & Yonglin, J. (Available online 13 January 2018). Review on the design and optimization of natural gas liquefaction processes for onshore and offshore applications. *Elsevier*, 89–114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.01.002>
- U.S. *Energy Information Administration, International Energy Statistics, South China Sea Regional Analysis Brief*. (2013). Obtenido de <https://www.technology.org/2013/04/04/contested-areas-of-south-china-sea-likely-have-few-conventional-oil-and-gas-resources/>
- Useros Fernández, J. L. (2013). El Cambio Climático: Sus causas y Efectos Ambientales. *An Real Acad Med Cir Vall*, 50, 71-98. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4817473.pdf>
- Viggiani, P., & Rodriguez de Da Silva, D. (Abril de 2017). Establecimiento de Objetivos Específicos. (D. Rodriguez de Da Silva, Entrevistador)
- Villacis Pazos, D. X. (2014). LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA COMO UNA HERRAMIENTA DE APOYO PARA DETERMINAR CAPACIDADES MILITARES. *Revista Política y Estrategia*(124), 13.
- Wahid, A., Qyyum, M. A., Qadeer, K., & Lee, M. (2017). Energy optimization for single mixed refrigerant natural gas liquefaction process using the metaheuristic vortex search algorithm. *Elsevier*, 782–791. doi:<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.10.078>

- Wahid, A., Qyyum, M. A., Qadeer, K., & Lee, M. (2017). Energy optimization for single mixed refrigerant natural gas liquefaction process using the metaheuristic vortex search algorithm. *Elsevier*, 782–791.
- Wyllen, V., & Sonntag. (2002). *Fundamentos de Termodinámica*. (2da ed.). Mexico.
- Yi, E., Trigilio, A., & Di Scipio, S. (2014). APLICACIÓN DEL CO₂ COMO REFRIGERANTE PURO EN UN CICLO EN CASCADA SIMILAR AL PROCESO PHILLIPS® PARA LICUEFACCIÓN DE GAS NATURAL. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V*, 29(1), 57-64.
- Zwicky, F. (1969). *Discovery, invention, research-through the morphological approach*. 276. Toronto.