

CARACTERIZACIÓN DE UN GAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL
PODER CALORÍFICO Y PUNTO DE ROCÍO POR MÉTODOS DIRECTOS EN EL
LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE
PETRÓLEOS

JAMINTON ANDRÉS CABRERA CUELLAR
FABIO ANDRÉS VILLAMIL DURAN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
AÑO 2019

CARACTERIZACIÓN DE UN GAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL
PODER CALORÍFICO Y PUNTO DE ROCÍO POR MÉTODOS DIRECTOS EN EL
LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE
PETRÓLEOS

JAMINTON ANDRÉS CABRERA CUELLAR
FABIO ANDRÉS VILLAMIL DURAN

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE
PETRÓLEOS

DIRECTOR
Félix Arenas Rueda
INGENIERO DE PETRÓLEOS

CODIRECTOR
Víctor Stivenson Sandoval Bohórquez
INGENIERO QUÍMICO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA
AÑO 2019

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GENERAL	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. MARCO TEÓRICO	18
3.1. ANTECEDENTES.....	18
3.2. GAS NATURAL Y GLP	18
3.3. PODER CALORÍFICO.....	19
3.3.1. Métodos para determinar poder calorífico.	19
3.4. PUNTO DE ROCÍO	20
3.4.1. Métodos para determinar punto de rocío.....	20
4. METODOLOGÍA	21
5. DESARROLLO	23
5.1. PUESTA A PUNTO DE LOS EQUIPOS	23
5.2. GASES	23
5.3. ENSAYO DE PODER CALORÍFICO	24
5.4. ENSAYO DE PUNTO DE ROCÍO	26

5.5. SIMULACIÓN EN ASPEN HYSYS®	28
5.5.1. Simulación de la curva de punto de rocío.....	29
5.5.2. Simulación de poder calorífico.....	30
6. RESULTADOS	31
6.1. PODER CALORÍFICO.....	31
6.2. PUNTO DE ROCÍO	33
7. CONCLUSIONES	35
8. RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del GLP	23
Tabla 2. Especificaciones técnicas del Calorímetro P5615	25
Tabla 3. Especificaciones técnicas del higrómetro Chanscope II	27
Tabla 4. Tabulación de la curva de punto de rocío del propano	29
Tabla 5. Tabulación de la curva de punto de rocío del GLP	30
Tabla 6. Simulación de poder calorífico.....	30
Tabla 7. Plantilla para la toma de datos experimentales del PC del propano.....	31
Tabla 8. Plantilla para la toma de datos del PC del GLP	32
Tabla 9. Plantilla para la toma de datos del punto de rocío	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del Calorímetro de P5615.....	24
Figura 2. Distribución e instalación del CalorímetroP5615	25
Figura 3. Componentes del higrómetro Chanscope II	27
Figura 4. Distribución e instalación del higrómetro Chanscope II	28
Figura 5. Curva de punto de rocío del propano	29
Figura 6. Curva de punto de rocío del GLP	30
Figura 7. Temperatura de rocío para el propano y el GLP	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Procedimiento de ensayo poder calorífico	41
Anexo B. Procedimiento de ensayo punto de rocío	49
Anexo C. Procedimiento simulación Aspen HYSYS®	55

GLOSARIO

PODER CALORÍFICO. Es la energía que se desprende de la quema de un gas u otro material combustible. De su magnitud depende el precio de venta del gas.

PUNTO DE ROCÍO. Es la temperatura en la cual aparece la primera gota de líquido. El parámetro depende directamente de la presión a la cual se encuentre el gas y de su composición.

CALIBRACIÓN. Comparación de resultados obtenidos de un instrumento con unos patrones de referencia ya establecidos.

GLP. Mezcla de gases licuados provenientes del gas natural o del proceso de destilación de petróleo.

GAS DE REFERENCIA. Gas del cual se tienen datos previamente establecidos. Se usa con fines comparativos con la finalidad de calibrar equipos de medición.

SIMULACIÓN. Modelo computarizado de correlaciones matemáticas usado para determinar ciertas propiedades del gas.

CROMATOGRAFÍA. Método físico de separación usado para determinar la composición de una mezcla de gases.

COMBUSTIÓN. Reacción química producida entre un oxidante y el oxígeno. Este proceso está acompañado de un desprendimiento de energía en forma de calor.

PRESIÓN MANOMÉTRICA. Es la presión leída directamente de un manómetro o la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

CALORÍMETRO. Equipo usado para la medición de la energía que desprende un gas cuando es quemado.

GASÓMETRO. Componente del calorímetro que mide el flujo de gas que se consume en la combustión.

GAS REFRIGERANTE. Gas usado para disminuir la temperatura de la muestra de gas en la cámara del higrómetro para determinar su punto de rocío.

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN DE UN GAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO Y PUNTO DE ROCÍO POR MÉTODOS DIRECTOS EN EL LABORATORIO DE FLUIDOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS. *

AUTOR: Fabio Andrés Villamil Duran; Jaminton Andrés Cabrera Cuellar. **

PALABRAS CLAVES: GLP, Poder Calorífico, Punto de Rocío, Laboratorio, Protocolo.

DESCRIPCIÓN:

Actualmente el gas abastece el 23% de la energía que consume toda la población mundial, con un crecimiento de 4.6% en el año 2018 y 18% solamente en china, el gas jugara un papel importante en el futuro cercano de la industria energética, por esto es importante que el egresado de la Escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander fortalezca las bases de su conocimiento frente a la determinación de propiedades que involucran la compra y el transporte de este combustible.

Para lograr este objetivo, en el presente proyecto se caracterizó un gas mediante la determinación del punto de rocío y el poder calorífico usando un higrómetro de referencia Chanscope II (Chandler Engineering) y un calorímetro P5615 (Cussons Technology). Los equipos usados fueron acondicionados y se desarrolló un procedimiento técnico-preventivo a través de una metodología determinada para que los usuarios del laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos puedan determinar estas propiedades de manera correcta, precisa y segura. Los resultados de esta caracterización fueron contrastados con fuentes en literatura y simulaciones en Aspen HYSYS para verificar la calibración y el estado óptimo de los equipos. Como resultado de este desarrollo se dejaron instalados los equipos para su uso continuo estipularon 2 procedimientos más para el laboratorio de fluidos de la escuela.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Fisicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Ing. Felix Arenas Rueda. Codirector: Ing. Víctor Stivenson Sandoval Bohórquez.

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF A GAS THROUGH THE DETERMINATION OF CALORIFIC VALUE AND DEW POINT BY DIRECT METHODS IN THE FLUID LABORATORY OF THE PETROLEUM ENGINEERING SCHOOL.

AUTHOR: Fabio Andres Villamil Duran; Jaminton Andres Cabrera Cuellar.

KEY WORDS: GLP, Heating Value, Dew Point, Laboratory, Protocol.

DESCRIPTION:

Currently the gas supplies 23% of the energy consumed by the entire world population, with a growth of 4.6% in 2018 and only 18% in China, the gas will play an important role in the near future of the energy industry. For this reason, it is important that the graduate of the School of Petroleum Engineering of the Industrial University of Santander strengthen the foundations of their knowledge regarding the determination of properties that involve the purchase and transportation of this fuel.

To achieve this objective, in the present project a gas was characterized by determining the dew point and the calorific value using a Chanscope II reference hygrometer (Chandler Engineering) and a P5615 calorimeter (Cussons Technology). The equipment used was conditioned and a technical-preventive procedure was developed through a specific methodology so that users of the fluid laboratory of the Petroleum Engineering School can determine these properties correctly, precisely and safely. The results of this characterization were contrasted with sources in literature and simulations in Aspen HYSYS to verify the calibration and the optimal state of the equipment. As a result of this development, the equipment was left installed for continuous use and 2 more procedures were stipulated for the school's fluid laboratory.

* Work Degree.

** Faculty of Physicochemical Engineering's. School of Petroleum engineering. Director: Ing. Felix Arenas Rueda. Codirector: Ing. Víctor Stivenson Sandoval Bohórquez.

INTRODUCCIÓN

El uso del gas combustible ha venido incrementando años tras año, cada vez más industrias quieren adoptar el gas como fuente de energía principal, pero no solo por su precio comparado con los combustibles más usados como el Diesel y la gasolina, sino también por el bajo nivel de contaminación que emite.

El crecimiento de la demanda de gas a nivel mundial según la Agencia Internacional de Energía fue de 4.6% en 2018, solamente en China el crecimiento fue de 18% debido a la transición del carbón al gas con el fin reducir su contaminación local. A pesar de que China y Estado Unidos en conjunto representan el 50% del aumento de la producción total, la producción de China se da para el cubrimiento de su demanda nacional, por lo que Estados Unidos, Australia y Rusia representarían la mayoría del crecimiento en las exportaciones hasta el 2024.¹

Sin duda, el gas jugara un papel importante en el cubrimiento de la demanda energética en un futuro. La disminución del uso del carbón y el requerimiento de fuentes de energía más limpias impulsará la industria del gas y le dará una participación más significativa.

Por lo anterior, es importante poner en marcha los equipos inactivos que se encuentran en el laboratorio de fluidos y mejorar el perfil profesional de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en cuanto a conocimientos del gas de refiere, por esto, en el siguiente proyecto se llevara a cabo la puesta a punto y calibración del calorímetro modelo P5615 (Cussons Technology), el higrómetro modelo Chanscope II (Chandler Engineering) y la estructuración de un protocolo que le permita al usuario del laboratorio de la escuela determinar el poder calorífico y el punto de rocío de manera correcta y confiable.

¹ International Energy Agency. Gas 2019: Analysis and Forecasts to 2024. [En línea]. Francia. (Recuperado en 25 octubre 2019). Disponible en <https://www.iea.org/gas2019/>

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos se encuentra un medidor de poder calorífico de referencia P5615 (Cussons Technology) y un medidor de punto de rocío o higrómetro modelo Chanscope II (Chandler Engineering) en estado inactivo, debido al traslado de los equipos de un laboratorio a otro y al deterioro del tiempo, algunos componentes están dispersos, faltantes o desgastados. Poner en marcha los equipos y establecer un procedimiento de ensayo optimo fortalecerá la base de conocimientos del usuario en la determinación de estas propiedades del gas.

Para solucionar el problema se plantea la puesta a punto y calibración de los equipos, como también el desarrollo de un protocolo validado que permita al usuario determinar el poder calorífico y el punto de rocío de un gas de manera precisa en el laboratorio de fluidos de la EIP.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar un gas mediante los resultados del poder calorífico y punto de rocío, determinados en el laboratorio de fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Registrar toda la documentación a cerca del calorímetro de gases y de los equipos de punto de rocío del laboratorio de Fluidos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos.
- Realizar el montaje en el laboratorio de fluidos, de los equipos antes mencionados con las respectivas adecuaciones para su normal funcionamiento.
- Determinar las pruebas de poder calorífico y punto de rocío del gas seleccionado y observar que la repetitividad de cada una de las pruebas este dentro de los parámetros de la norma.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

Un trabajo reciente desarrollado por Elsa Alba Valderrama y Yeison Gil Otalora (2012) propone la puesta en marcha de un laboratorio de gas para la escuela de Ingeniería de Petróleos bajo los estándares de la norma NTC ISO 17025:2005 con la finalidad de determinar la calidad del gas a través de parámetros como lo son el poder calorífico y el punto de rocío.

Entre otros proyectos elaborados, Fredy Orielson Herrera Palencia desarrollo “Selección, montaje y aseguramiento metrológico de una tecnología para la determinación del poder calorífico del gas natural” donde llevo a cabo la estructuración de un método para calcular el poder calorífico de un gas natural usando la cromatografía como base de su estudio, este método indirecto se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTC/ISO 10012.

3.2. GAS NATURAL Y GLP

Tanto el Gas Natural como el GLP son 2 tipos de mezclas de gases totalmente diferentes, pero con una finalidad similar, suministrar energía. El GLP es una mezcla de gases producto de la destilación del petróleo conformada principalmente por propano y butano, usado ampliamente como combustible, propelente para aerosoles, refrigerante industrial, entre otros. A diferencia del gas GLP el gas natural se produce de manera natural en procesos de descomposición, está compuesto en su gran mayoría por metano y es usado como combustible para hornos y estufas tanto industriales como residenciales, como combustible para vehículos, también es usado en la industria petroquímica para la obtención de amoníaco, metanol, etileno, etc.

El gas, independientemente de cuál sea su tipo, es uno de los combustibles más usados a nivel mundial con una participación del 23% y posicionándose en tercer lugar por debajo del carbón con un 26%, representa una alternativa próxima a las principales fuentes de energía como lo son la gasolina, el Diesel y el carbón, su baja

contaminación y su casi nula emisión de material particulado lo convierten en la opción ideal para reemplazar a los combustibles tradicionales.

3.3. PODER CALORÍFICO

El poder calorífico puede definirse como la cantidad de energía liberada sobre la cantidad de combustible consumido, en otras palabras, es una métrica de la cantidad de energía que un gas puede brindar, con lo cual se puede determinar su valor comercial.²

Existen 2 tipos de poder calorífico, el poder calorífico bajo o LCV (Low Calorific Value) y el poder calorífico alto o HCV (High Calorific Value). El LCV indica la cantidad de calor que puede brindar la combustión de un gas cuando el agua producto de la combustión no se condensa y esa energía de cambio de fase no es transferida al sistema. El HCV tiene en cuenta la energía que se trasfiere al sistema cuando se da la condensación del agua producto de la combustión. Este poder calorífico es la máxima cantidad de energía que puede ofrecer un gas.

3.3.1. Métodos para determinar poder calorífico. La determinación de poder calorífico se da a través de métodos directos usando calorímetros o equipos de combustión catalítica y a través de métodos indirectos usando una cromatografía para determinar la composición del gas y en base a estos valores calcular el poder calorífico.³

Los métodos directos son aquellas formas de medición en los que la característica que se pretende medir se da de forma explícita, dependiendo únicamente de valores correspondientes o asociados a la propiedad que se va a determinar. Para calcular el poder calorífico de manera directa se usa una amplia gama de calorímetros. Este

² CREG. Resolución 054 de 2007. Por la cual se complementan las especificaciones de calidad del gas natural inyectado al sistema nacional de Transporte, definidas en la resolución CREG 071 de 1999.

³ AYALA BLANCO, Elizabeth; APARICIO ARIZA, Adriana Alexandra and GARCÍA SÁNCHEZ, Carlos Eduardo. Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. *Rev. ion* [online]. 2016, vol.29, n.2

proyecto se llevará a cabo usando el modelo P5615 un calorímetro diseñado por Charles Vernon Boys, físico de origen inglés.

Los métodos indirectos son aquellas formas de medición en los que la variable requerida que se pretende calcular depende directamente de otra que no tiene relación cercana con la propiedad. El poder calorífico puede ser medido de manera indirecta usando la composición del gas. Para esto se necesita una cromatografía y las entalpías de combustión de cada uno de sus componentes para después proceder a calcularlo de la siguiente forma:

$$\Delta H_{Mezcla} = \sum n_i \Delta H_i$$

3.4. PUNTO DE ROCÍO

Se define como la temperatura a la cual inicia la condensación de un vapor a una presión determinada. Este parámetro es relevante en la etapa de transporte, pues se debe asegurar que durante la trayectoria por el gasoducto no se presenten temperaturas por debajo del punto de rocío; esto podría producir diferentes problemas debido a la presencia de líquidos en el ducto.⁴ Además, el punto de rocío del gas en un yacimiento es usado para planear el perfil de producción del pozo.

3.4.1. Métodos para determinar punto de rocío. El cálculo del punto de rocío se puede realizar por medio de un higrómetro, ecuaciones de estado (EoS o *Equation of State*)- siendo la EoS de Peng-Robinson y Soave-Redlich-Kwong las más implementadas y distintas correlaciones matemáticas propuestas en literatura.⁵

⁴ Santos, N., Pérez, J. y Cabarcas, M. (2017). Establecimiento de un valor adicional de punto de rocío de hidrocarburo para la zona cálida de Colombia. Revista Fuentes: El reventón energético, 15 (1), 59-73.

⁵ AYALA BLANCO, Elizabeth; APARICIO ARIZA, Adriana Alexandra and GARCÍA SÁNCHEZ, Carlos Eduardo. Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. *Rev. ion* [online]. 2016, vol.29, n.2

4. METODOLOGÍA

Se planea llevar a cabo inicialmente la puesta a punto de los equipos que se usaran en los ensayos ya que se ha evidenciado que algunos de sus componentes están vencidos, dispersos o hacen falta. Teniendo los equipos a punto se procede a estructurar el procedimiento que se llevara a cabo en los ensayos con ayuda de los manuales de los equipos, reportes de laboratorio registrados y con la literatura existente sobre el uso y manejo de los mismos, se debe validar el procedimiento y la calibración para garantizar la fiabilidad de los resultados, para este fin se ha decidido seleccionar un gas de referencia del cual se tiene información de distintas fuentes de literatura y con los cuales se puede realizar una comparación de los valores finales obtenidos, si los resultados varían demasiado se procede a realizar la respectiva calibración según las recomendaciones del fabricante o en su defecto se envían a calibración con la ayuda del CDT de Gas en el Parque Tecnológico Guatiguara. Después de haber realizado la respectiva calibración, los resultados finales del gas de referencia vuelven y se comparan con las distintas fuentes de información como los es la literatura o la simulación llevada a cabo en HYSYS®, si los valores concuerdan y se maneja un margen de error aceptable se puede garantizar la fiabilidad tanto del equipo como del procedimiento.

Con un procedimiento estructurado de manera correcta se proceden a llevar acabo los ensayos con una segunda muestra, esta vez, un gas GLP, seleccionado por su alta disponibilidad y ser apto para determinar las propiedades que se requieren. Al seleccionar un gas GLP de composición desconocida se requiere una cromatografía para establecer los porcentajes de cada uno de sus componentes y poder realizar la respectiva simulación en HYSYS®, para lograr esto es necesaria la colaboración del CDT de Gas quien ha manifestado poder ayudarnos con este tipo de requerimiento.

Teniendo los resultados de los ensayos de poder calorífico y punto de rocío se realiza un análisis comparativo entre los resultados experimentales, simulados y encontrados en literatura para confirmar una vez más que los equipos se encuentren

calibrados y en óptimas condiciones para llevar acabo la determinación de estas propiedades del gas. Si se tienen resultados favorables y dentro de un rango aceptable de error se puede garantizar a fiabilidad del procedimiento constituido. Por último, teniendo el procedimiento validado se hace un registro audiovisual del mismo para complementar el material que se dejara a disposición de los usuarios del laboratorio.

5. DESARROLLO

5.1. PUESTA A PUNTO DE LOS EQUIPOS

Se hizo un análisis de los equipos y se comprobó que faltaban algunos componentes, algunos suministros estaban en mal estado por el deterioro del tiempo y las baterías de los mismos estaban para reemplazar. Se realizó un inventario de los componentes faltantes y de las conexiones que hacían falta para las líneas de gas y agua. Estos componentes al igual que el gas GLP fueron adquiridos y reemplazados en los equipos, los suministros para su funcionamiento como el gas refrigerante CO₂, fue adquirido a modo de préstamo en el Parque Tecnológico Guatiguara por parte de la escuela. Los equipos fueron encendidos y se comprobó que funcionaban con normalidad.

5.2. GASES

Los gases empleados en los ensayos de poder calorífico y punto de rocío fueron gas propano tipo 4 y GLP, cuya composición fue determinada por medio de cromatografía usando un detector de conductividad térmica (TCD o *Thermal Conductivity Detector*) y un detector de ionización de llama (FID o *Flame Ionization Detector*) en serie. Este análisis lo realizó la empresa *CDT del Gas*, y el resultado se puede apreciar en la Tabla 1.

Estos resultados se utilizaron para correlacionarlos con los obtenidos experimentalmente.

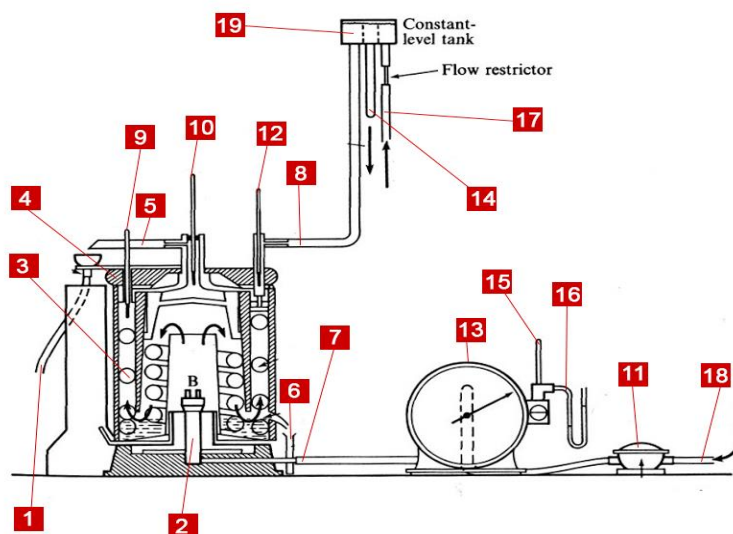
Tabla 1. Composición del GLP. Fuente: Autores

Compuesto	Concentración (% w/w)	Compuesto	Concentración (% w/w)
Dióxido de Carbono	0.233944	n-Pentano	0.295196
Etano	1.592536	Nitrógeno	5.727127
Propano	58.786369	Hexano	0.045867
i-Butano	15.244854	n-Heptano	0.013958
n-Butano	14.978891	n-Octano	0.006670
i-Pentano	0.953965	n-Nonano	0.002624
Oxígeno	2.117339	n-Decano	0.000659

5.3. ENSAYO DE PODER CALORÍFICO

El calorímetro P5615 es un equipo diseñado para calcular el poder calorífico de una amplia gama de combustibles gaseosos. Su principio consiste en calentar una corriente de agua que pasa a través de unos ductos con el calor de la combustión del gas. En la Figura 1 se identifican las partes que componen el calorímetro, en la Figura 2 se muestra la distribución e instalación del equipo en el laboratorio y en la Tabla 2 se muestran sus especificaciones. El protocolo de uso se encuentra el **Anexo A**, este se desarrolló con el propósito de ser amigable con los usuarios.

Figura 1. Componentes del Calorímetro de P5615. Fuente: Autores



1	Salida de Agua	11	Reductor de Presión
2	Quemadores	12	Termómetro de Entrada de Agua
3	Serpentín	13	Gasómetro
4	Calorímetro	14	Salida de Agua Sobrante
5	Salida de Agua	15	Termómetro del Gas
6	Salida de Condensados	16	Manómetro de mL de H ₂ O
7	Entrada de Gas	17	Fuente de Agua
8	Entrada de Agua	18	Fuente de Gas
9	Termómetro de Gases de Escape	19	Estabilizador de Flujo Constante
10	Termómetro Salida de Agua		

Figura 2. Distribución e instalación del CalorímetroP5615. Fuente: Autores



Tabla 2. Especificaciones técnicas del Calorímetro P5615. Fuente: Autores

Fabricante	Cussons Technology Ltd.
Modelo	P5615
Peso	27 kg
Presión de Trabajo	Atmosférica
Temperatura de Trabajo	Ambiente (15-25°C)
Rango	400-3500 BTU/SCF
Tamaño	24 x 20 x 22 in
SCF o <i>Standar Cubic Feet</i> es pies cúbicos a condiciones estándar (i.e. 273.14K y 14.67 psi)	

El valor del poder calorífico depende directamente del estado (líquido o vapor) del agua generada en el proceso de combustión. En caso de que ocurra condensación de dicha agua, se tendrá un aporte adicional de energía al agua circulante en los ductos, a este valor se le denomina valor calorífico superior (HCV o *Higher Calorific Value*), y en caso de no haber condensación se le conoce como valor calorífico inferior (LCV o *Low Calorific Value*). El LCV se estima considerando que el calor de combustión se transfiere directamente al agua de los ductos, con lo cual se llega a:

$$LCV = \frac{\dot{v}_w \rho_w C_{pw} (T_2 - T_1)}{\dot{v}_g^*} \quad (1)$$

Donde, $\dot{v}_g^*$ es el flujo volumétrico en condiciones estándar (i.e. 273.14K y 14.67psi) del combustible gaseoso, $\dot{v}_w$ el flujo volumétrico de agua en los ductos, ρ_w la densidad del agua, C_{pw} la capacidad calorífica del agua, T_1 y T_2 son la temperatura del agua a la entrada y salida de los ductos, respectivamente. Para calcular el HCV se utiliza la siguiente relación:

$$HCV = LCV + \frac{\dot{v}_c \rho_w h_{fg}}{\dot{v}_g^*} \quad (2)$$

Donde, $\dot{v}_c$ es el flujo volumétrico de agua condensada proveniente de la combustión y h_{fg} es la entalpia de vaporización del agua. En el **Anexo A** se muestra las instrucciones para registrar los parámetros de las ecuaciones 1 y 2.

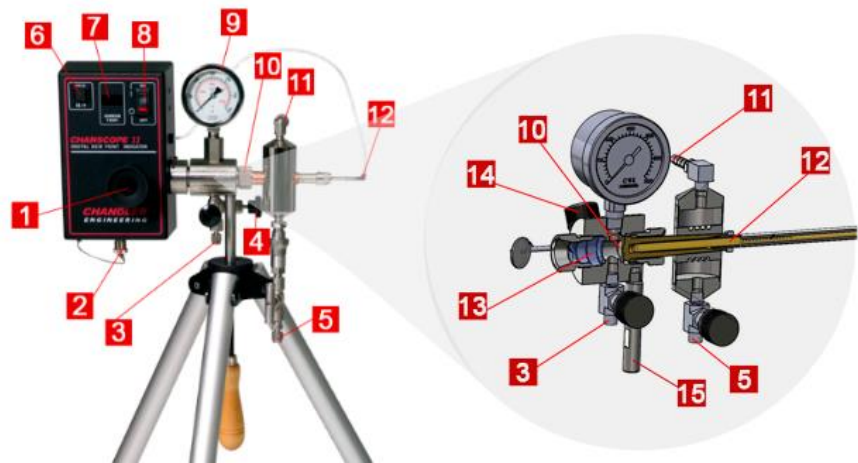
5.4. ENSAYO DE PUNTO DE ROCÍO

El higrómetro Chanscope II es considerado uno de los quipos más exactos para la medición del punto de rocío, ya que permite observar el proceso de condensación directamente. Este equipo emplea la técnica del espejo enfriado, que como su nombre lo indica, consiste en enfriar de forma gradual una placa metálica sobre la cual fluye continuamente un gas a presión constante (ver Figura 3B). El enfriamiento del sistema se realiza por medio del efecto Joule-Thomson, este efecto describe que, a temperatura ambiente todos los gases se enfrían al expandirse cuando se estrangulan a través de un orificio.⁶ En el equipo es permitido, según su fabricante, usar dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) o propano (C₃H₈) como refrigerante; en el desarrollo de estos ensayos se empleó CO₂ por su bajo costo, disponibilidad y no inflamabilidad. En la Figura 3 se identifican las partes que componen el

⁶ Schlumberger Limited. Oil Field Glossary: Joule-Thomson. [En línea]. (Recuperado en 29 octubre 2019). Disponible en <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/jj/joule-thomson.aspx>

higrómetro, en la Figura 4 se muestra la distribución e instalación del equipo en el laboratorio y en la Tabla 3 se muestran sus especificaciones. El protocolo de uso se encuentra el **Anexo B**.

Figura 3. Componentes del higrómetro Chanscope II. Fuente: Autores



1	Visor de rocío	7	Temperatura en formato digital
2	Entrada de Cargador de Corriente	8	Interruptor de Encendido
3	Válvula de Salida de Gas	9	Manómetro Análogo
4	Válvula de Entrada de Gas	10	Espejo Interno de Humedad
5	Entrada de Gas Refrigerante CO ₂	11	Salida de Gas Refrigerante CO ₂
6	Botón de Pausa de Temperatura	12	Termómetro Digital

Tabla 3. Especificaciones técnicas del higrómetro Chanscope II. Fuente: Autores

Fabricante	Chandler Engineering
Modelo	Chanscope II 13-1200-C-N-2
Peso	11 kg
Presión de Trabajo	0 - 3000psig
Temperatura de Trabajo	-20°C a 70°C
Rango de Punto de Rocío	-129°C – Ambiente
Tamaño	14 x 18 x 16 Inch

Figura 4. Distribución e instalación del higrómetro Chanscope II. Fuente: Autores



5.5. SIMULACIÓN EN ASPEN HYSYS®

El cálculo de la de temperatura de rocío en función de la presión para el propano y el GLP se realizó en Aspen HYSYS® V10 usando el paquete termodinámico Peng-Robinson, que es la elección común cuando se trabaja con este tipo de gases. Sin embargo, dicha EoS no es adecuada para gases como oxígeno (O_2), N_2 y CO_2 , y teniendo en cuenta que estos gases no afectan el punto de rocío del GLP, se excluyeron de la simulación y se normalizaron las composiciones restantes. Para conocer el procedimiento de simulación diríjase al **Anexo C**.

Para la entrada de datos, Aspen HYSYS® solicitó el ingreso de la composición de cada uno de los gases y se obtuvieron los siguientes resultados.

5.5.1. Simulación de la curva de punto de rocío.

Figura 5. Curva de punto de rocío del propano. Fuente: Aspen HYSYS® v10

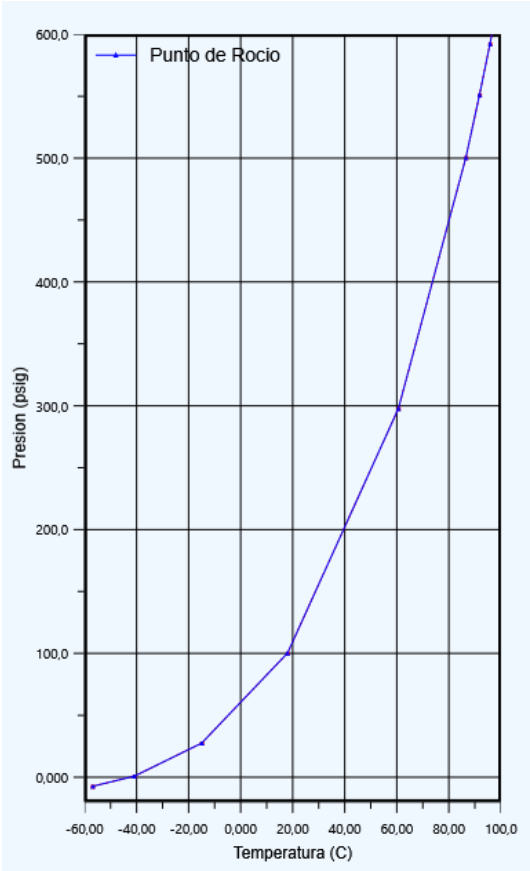


Tabla 4. Tabulación de la curva de punto de rocío del propano. Fuente: Aspen HYSYS® v10.

PSIG	°C
0.86	-40.88
27.59	-14.95
100.25	17.99
297.75	60.58
500.44	86.49
551.07	91.74
592.28	95.76
602.68	96.75

Figura 6. Curva de punto de rocío del GLP. Fuente: Aspen HYSYS® v10

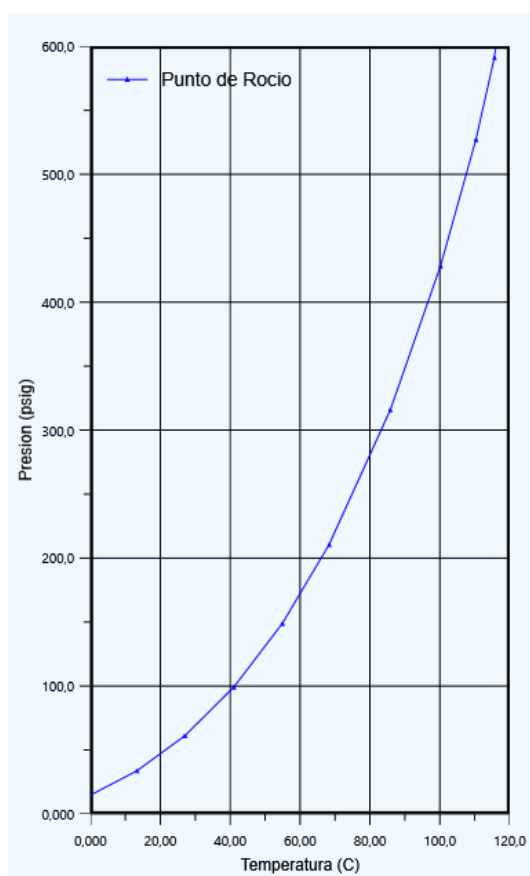


Tabla 5. Tabulación de la curva de punto de rocío del GLP. Fuente: Aspen HYSYS® v10.

PSIG	°C
14.70	-0.02
33.76	13.28
61.22	27.02
99.11	41.00
148.84	54.89
210.53	68.30
315.76	85.81
428.11	100.16
527.02	110.32
591.12	115.60
605.64	116.31
607.46	116.17

5.5.2. Simulación de poder calorífico.

Según las simulaciones llevadas a cabo, el LCV para cada una de las muestras de gas fueron los siguientes.

Tabla 6. Simulación de poder calorífico. Fuente: Aspen HYSYS® v10.

Propano	GLP	
46.37	45,99	MJ/kg
2317	2547	Btu/SCF

6. RESULTADOS

6.1. PODER CALORÍFICO

En la Tabla 4 se muestra la plantilla propuesta para la toma de datos del calorímetro. Como se puede observar el ensayo se debe repetir al menos tres veces para garantizar su confiabilidad.

Tabla 7. Plantilla para la toma de datos experimentales del poder calorífico del propano. Fuente: Autores

 Universidad Industrial de Santander		ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS			HOJA DE RESULTADOS		
		MEDICIÓN DE PODER CALORÍFICO					
Tipos de Muestras		Propano					
Lugar de Ejecución		Laboratorio Petrofísicos - P.T Guatiguara					
CONDICIONES DE LABORATORIO							
Presión Atmosférica de 14.76 [psia] y Temperatura de 299.15 [K]							
DATOS DE LA PRUEBA CON PROPANO							
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Media	Media Corregida*	HYSYS®	% error
Caudal Gas [ft3/seg]	9,47E-05	0,000174	0,00021				
P. Manométrica [psig]	7,5	15	20				
T escape [°C]	30	30	30				
T entrada [°C]	24,5	24,5	25				
T salida [°C]	32	40,9	44				
Caudal Agua [m3/seg]	6,67E-06	5,56E-06	5,7E-06				
LCV [MJ/Kg]	44,8	44,5	44,5	44,6	44,99	46,37	2,97
LCV [BTU/SCF]	2279,2	2265,5	2262,4	2269	2289,4	2359,6	2,97

*Corrección por humedad del aire: 0,3875 MJ/Kg, Corrección por Tentrada: 0 MJ/K

Se calcula un intervalo de confianza para precisar el resultado.

Desviación Estándar: 0,1414 Promedio: 44,6 Intervalo de confianza 90%

Intervalo de confianza de LCV=44,6± 0,24

Tabla 8. Plantilla para la toma de datos del poder calorífico del GLP. Fuente:
Autores

 Universidad Industrial de Santander		ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS				HOJA DE RESULTADOS	
		MEDICIÓN DE PODER CALORÍFICO					
Tipos de Muestras		GLP					
Lugar de Ejecución		Laboratorio Petrofísicos - P.T Guatiguara					
CONDICIONES DE LABORATORIO							
Presión Atmosférica de 14.76 [psia] y Temperatura de 299.15 [K]							
DATOS DE LA PRUEBA CON GLP							
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Media	Media Corregida*	HYSYS®	% error
Caudal Gas [ft3/seg]	0,000167	0,00019	0,00021				
P. Manométrica [psig]	15	20	20				
T escape [°C]	31	31	31				
T entrada [°C]	24,5	25	24,5				
T salida [°C]	42	46	45,8				
Caudal Agua [m3/seg]	5,88E-06	5,88E-06	6,3E-06				
LCV [MJ/Kg]	47,10	47,48	47,51	47,36	48,53	45,99	2,25
LCV [BTU/SCF]	2666	2687,5	2689,2	2680,7	2746,9	2603,2	2,25

*Corrección por humedad del aire: 0,4143 MJ/Kg, Corrección por Tentrada: 0 MJ/Kg

Se calcula un intervalo de confianza para precisar el resultado.

Desviación Estándar: 0.1866 Promedio: 47,36 Intervalo de confianza 90%

Intervalo de confianza de LCV=47,36± 0,31

Como se pueden apreciar, los datos de poder calorífico obtenidos de los ensayos fueron contrastados con los obtenidos en simulación y obtuvieron 2,97% y 2,25% de margen de error para el propano y el GLP respectivamente. Sin embargo, se pudieron establecer los resultados de los ensayos dentro de los rangos aceptables comprobando así el correcto funcionamiento del calorímetro Cussons P5615 y la confiabilidad del protocolo desarrollado (**Anexo A**).

6.2. PUNTO DE ROCÍO

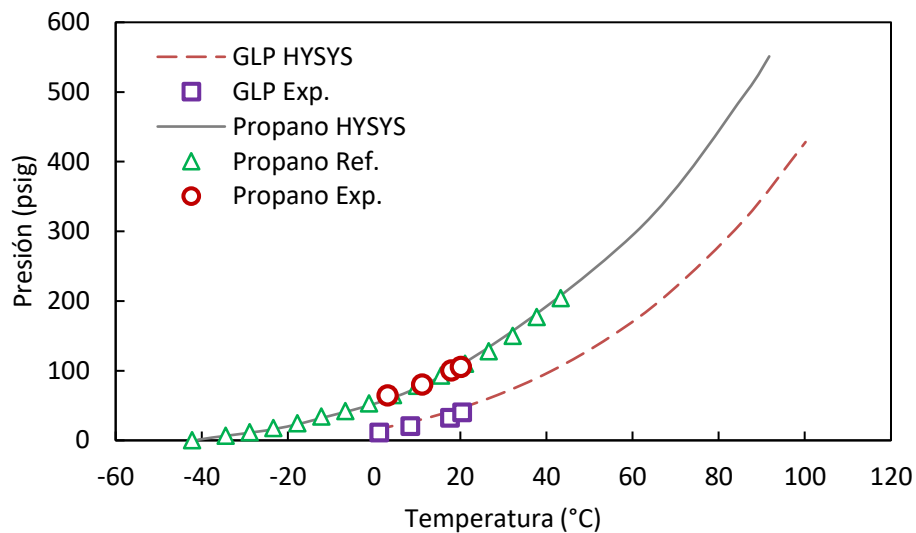
En la Tabla 5 se muestra la plantilla propuesta para la toma de datos del higrómetro. Cómo se puede observar, el ensayo se debe repetir al menos dos veces para garantizar su confiabilidad.

Tabla 9. Plantilla para la toma de datos del punto de rocío. Fuente: Autores.

 Universidad Industrial de Santander		ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS		HOJA DE RESULTADOS	
		MEDICIÓN DE PUNTO DE ROCÍO		Página 1de 1	
Tipos de Muestras		GLP		Patm de14.67 [psia]	
Lugar de Ejecución		P.T Guatiguara		Tamb de 25.5 °C	
DATOS DE LA PRUEBA CON PROPANO					
Presión [psig]		Punto de Rocío [°C]			
	Ensayo #1	Ensayo #2	Ensayo #3	Promedio	
64	3.2	3.2		3.2	
80	11.5	11		11.3	
100	17.8	18.1		18.0	
105	20.5	19.8	20.4	20.2	
DATOS DE LA PRUEBA CON GLP					
Presión [psig]		Punto de Rocío [°C]			
	Ensayo #1	Ensayo #2	Ensayo #3	Promedio	
11	0.2	2.4		1.3	
20	8.8	8.1		8.5	
32	17.4	17.3	18.5	17.7	
40	20.5	20.5		20.5	

En la Figura 5 se muestran los resultados experimentales simulados en Aspen HYSYS®, y encontrados en la literatura para del punto de rocío del propano y el GLP. Como se puede apreciar, para el caso del propano los datos experimentales coinciden de forma satisfactoria tanto con los obtenidos en la simulación, como con los reportados en *Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals*⁷ con este resultado se comprueba el correcto funcionamiento del higrómetro Chanscope II y la confiabilidad del protocolo desarrollado (**Anexo B**). De igual manera, los resultados experimentales y de simulación para el GLP concuerdan apropiadamente, lo que demuestra la alta precisión de dichos resultados.

Figura 7. Temperatura de rocío para el propano y el GLP. Exp. hace referencia a los datos experimentales y Ref. a volares tomados de *Liquefied Gas Handling Principles On Ships and in Terminals*. Fuente: Autores



⁷ MCGUIRE AND WHITE. *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*. 3 ed. Bermuda: Whiterby Publishers. 2000. p38-39.

7. CONCLUSIONES

El punto de rocío es considerado al igual que el poder calorífico, una propiedad importante para la industria gasífera, medir con exactitud este parámetro podría optimizar costos de operación en el transporte o quizás causar un problema mayor, produciendo que la operación se retrase y aumentando los costos asociados. En el caso del poder calorífico, este puede indicar la calidad de un gas, un cálculo erróneo puede producir un gasto adicional de combustible en un proceso industrial o generar pérdidas a una empresa en la venta del mismo.

Por lo anterior, la exactitud de los datos de una caracterización que involucre estas propiedades debe ser alta. De los resultados obtenidos durante los ensayos se logró deducir que:

- Estos coincidieron satisfactoriamente con los valores arrojados por la simulación y los presentados en la literatura, demostrando que los dos equipos funcionan de forma correcta y precisa y, además, que los protocolos son enteramente confiables.
- El margen de error en los datos obtenidos para el poder calorífico se debió a que varios de los parámetros medidos para el cálculo de dicha propiedad se registraron de instrumentación análoga permitiendo así que existiese cierto grado de inexactitud e imprecisión al ser leídos por el ojo humano. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los equipos ya traen un grado de incertidumbre desde su fabricación, pues no son 100% exactos.
- El margen de error obtenido en el ensayo de punto de rocío usando la muestra de GLP se debió al uso del simulador mas no al equipo, se constató que el higrómetro Chanscope II no requería de calibración ya que el fenómeno se apreciaba de manera directa en el visor del equipo, el termómetro y el filtro fueron revisados y se descartó que la inexactitud de los datos fuera por estos.
- Se logró la puesta en marcha del calorímetro y del medidor de punto de rocío, y el desarrollo de un protocolo para cada equipo los cuales se validaron

mediante la estimación del poder calorífico y el punto de rocío de propano grado analítico y GLP, y su respectiva comparación con datos reportados en literatura y calculados teóricamente.

8. RECOMENDACIONES

- Para la optimización de resultados en esta metodología es importante disponer de manómetros y herramientas digitales para reducir el error de percepción humana.
- Se sugiere también a la Escuela de Ingeniería de Petróleos promover en mayor grado las capacitaciones en el uso del software de simulación Aspen HYSYS® enfocado a procesos de gas. Es indispensable hoy en día el uso de herramientas de simulación de procesos en la industria de los hidrocarburos.
- La Escuela de Ingeniería de Petróleos dispone de la capacidad para profundizar en la caracterización de gases, por esto se recomienda abrir la oportunidad a la creación de un laboratorio de gas para fortalecer el perfil profesional de sus egresados.

Para que los equipos se mantengan en correcto funcionamiento y ofreciendo resultados confiables se recomienda:

- Realizar una comparación de resultados con patrones de referencia periódicamente para saber si los equipos requieren de calibración y mantener así la calidad de los resultados.
- Capacitar al nuevo personal en el uso de los equipos. De esta forma se evitan malas prácticas y la avería temprana de los instrumentos.
- Mantener al día los repuestos y suministros de cada uno de los dispositivos que lo requieren para asegurar un funcionamiento continuo.

BIBLIOGRAFÍA

ALBA VALDERRAMA, Elsa María; GIL OTALORA, Yeisson Alexander. Instalación y puesta en marcha del laboratorio de gas en la Escuela de Ingeniería de Petróleos. Bucaramanga, 2012, 404 p. Trabajo de investigación (Pregrado). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.

Asociación Española de Gas Licuado. Que es el GLP y sus usos. [En línea]. (Recuperado en 12 septiembre 2019.) Disponible en <https://gaslicuado.org/glp/>

AYALA BLANCO, Elizabeth; APARICIO ARIZA, Adriana Alexandra and GARCÍA SÁNCHEZ, Carlos Eduardo. Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. Rev. ion [online]. 2016, vol.29, n.2.

CREG. Resolución 054 de 2007. Por la cual se complementan las especificaciones de calidad del gas natural inyectado al sistema nacional de Transporte, definidas en la resolución CREG 071 de 1999.

CREG. Documento 135 de 2009. Por la cual se establecen las fórmulas tarifarias generales aplicables al servicio público de gas combustible por redes de tuberías.

HERRING, Jack. Determination of Hydrocarbon Dew Point Measurement in Natural Gas. Estados Unidos: Michel Instruments Inc. Paper ID 2008058. 7p.

International Energy Agency. Gas 2019: Analysis and Forecasts to 2024. [En línea]. Francia. (Recuperado en 25 octubre 2019). Disponible en <https://www.iea.org/gas2019/>

MARTINES, Enrique. LIRA, Leonel. Cálculo de la Temperatura de Punto de Rocío a Diferentes Valores de Presión. México: Centro Nacional de Metrología. Simposio de Metrología, 2008, 5p.

MCGUIRE AND WHITE. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. 3 ed. Bermuda: Whiterby Publishers. 2000. p38-39.

SANTOS, N., PÉREZ, J. y Cabarcas, M. (2017). Establecimiento de un valor adicional de punto de rocío de hidrocarburo para la zona cálida de Colombia. Revista Fuentes: El reventón energético, 15 (1), 59-73.

Schlumberger Limited. Oil Field Glossary: Joule-Thomson. [En línea]. (Recuperado en 29 octubre 2019). Disponible en <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/j/joule-thomson.aspx>

ANEXOS

Anexo A. Manual de Procedimiento
Calorímetro Cusson P5615

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 2 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas	Calorímetro Cussons P5615

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	3
2. GLOSARIO.....	3
3. PREPARACIÓN DEL EQUIPO	3
4. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS.....	4
5. DESARROLLO.....	5
6. HOJA DE RESULTADOS.....	8

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 3 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas	Calorímetro Cussons P5615

1. OBJETIVO

Determinar el poder calorífico de un gas usando el equipo Cussons P5615

2. GLOSARIO

Poder Calorífico: Es el nombre que se le da a la cantidad de calor que se libera hacia los alrededores después de generarse una combustión. Esta medida es la que define que tanta energía puede brindar un gas y determinar de esta forma su valor de venta. El valor del poder calorífico depende directamente del estado (líquido o vapor) del agua generada en el proceso de combustión. En caso de que ocurra condensación de dicha agua de combustión, se tendrá un aporte adicional de energía al agua circulante en los ductos, a este valor se le denomina valor calorífico superior (HCV o *Higher Calorific Value*), y en caso de no haber condensación se le conoce como valor calorífico inferior (LCV o *Low Calorific Value*).

3. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- Revise las conexiones de gas en cada uno de los equipos y con una solución de agua y jabón, verifique que no exista fugas en las uniones.
- Asegúrese de tener el equipo trabajando en un lugar ventilado y alejado de dispositivos que puedan causar chispa como móviles, tabletas, etc. Una fuga no detectada puede ser causante de accidentes.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 4 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas	Calorímetro Cussons P5615

4. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS

4.1. PARÁMETROS DEL GAS

Temperatura de Escape: Es la temperatura de los gases producto de la combustión, se miden del termómetro ubicado en la parte superior del calorímetro, en uno de los agujeros.

Caudal de Gas: Es la cantidad de gas que se está consumiendo en la prueba por unidad de tiempo y se registra de la siguiente forma: Se toma un cronometro y se contabiliza el tiempo que tarda la aguja del gasómetro en avanzar 10 unidades, por ejemplo, de 10 a 20. Si se desea se pueden tomar más unidades, pero se debe registrar el tiempo que tarda en hacer dicho recorrido. Posteriormente se calcula el flujo volumétrico de gas ($\dot{v}_g$) en ft³ por segundo de la siguiente forma:

$$\dot{v}_g = \frac{\frac{1}{12} * \frac{1}{\text{Unidades Medidas}}}{\text{Tiempo Medido}}$$

Presión Absoluta: Es la presión registrada por el manómetro (psig) mas 14.67psi que es la presión atmosférica.

Temperatura de Entrada: Es la temperatura de entrada del gas, se mide del termómetro ubicado en la parte izquierda del gasómetro.

Caudal de Gas Corregido: Es el volumen del gas, pero esta vez a condiciones estándar, para llegar a esto se debe usar la ecuación de gases ideales:

$$\dot{v}_g^* = \frac{273.15 P_1}{35.315 * 14.67 T_1} \dot{v}_g$$

Donde, $\dot{v}_g^*$ es el flujo volumétrico en condiciones estándar en m³/s, P_1 la presión absoluta del gas en la prueba en psi, T_1 la temperatura de entrada del gas en K. El valor de 35.315 es el factor de conversión entre ft³ y m³.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 5 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas	Calorímetro Cussons P5615

4.2. PARÁMETROS DEL AGUA

Caudal de Agua: Es el valor del flujo de agua que está atravesando los ductos. Para calcularlo se puede medir el tiempo que tarda en llenarse un determinado volumen y dividir estos dos valores.

Temperatura de Entrada: Es la temperatura inicial de la corriente de agua y se registra del termómetro puesto en la alimentación de agua del calorímetro.

Temperatura de Salida: Es la temperatura de salida del agua después de pasar por el serpentín, se registra del termómetro previo a la salida del agua en la parte superior del calorímetro.

Calor Especifico Agua: 4.184 kJ/kg K

4.3. PARÁMETROS DEL CONDENSADO

Flujo Volumétrico: Se mide el tiempo que tarda en llenar determinado volumen en el recipiente de recolección de condensado en la parte inferior del Calorímetro

Entalpia del agua de evaporación: 2257 kJ/kg

5. DESARROLLO

- Abrir la válvula de alimentación del agua de manera progresiva e ir observando que se produzca un flujo constante a la salida del equipo. La entrada de agua debe ser mínima para que se pueda apreciar una variación en su temperatura.
- Abrir la válvula de la fuente del gas asegurándose primero que la válvula reguladora de flujo de cuadrante ubicada en la pared este cerrada o en cero.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS		Página 6 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas		Calorímetro Cussons P5615

- c. Se regula la presión de salida del cilindro de gas entre 5 y 20 psi máximo (el poder calorífico no depende directamente de la presión manométrica sino de la composición del gas) y se procede con la apertura de la válvula reguladora de flujo de cuadrante en su totalidad, permitiendo que el gas llegue hasta el gasómetro. Es indispensable no aumentar la presión es más de 20 psi para evitar daños en el gasómetro.
- d. Se procede a encender el quemador de gas y a esperar alrededor de 3 minutos mientras la temperatura del agua aumenta y se estabiliza. Se procederá con el siguiente paso cuando la temperatura de salida del agua sea más o menos constante. Si la temperatura del agua disminuye puede indicar que el quemador de gas se apagó.
- e. Una vez este el sistema estabilizado y la temperatura de agua sea constante, se procederá a registrar los datos en la hoja de resultados basándose en la definición de los parámetros mencionados anteriormente.
- f. Realice la prueba 2 veces más ahora usando presiones diferentes entre 5 y 20 psi y registre de nuevo la información.
- g. Proceda a calcular el poder calorífico de cada prueba en base a la siguiente ecuación:

$$LCV = \frac{\dot{v}_w \rho_w C_{pw} (T_2 - T_1)}{\dot{v}_g^*}$$

Donde, $\dot{v}_g^*$ es el flujo volumétrico en condiciones estándar (i.e. 273.14K y 14.67psi) del combustible gaseoso, $\dot{v}_w$ el flujo volumétrico de agua en los ductos, ρ_w la densidad del agua, C_{pw} la capacidad calorífica del agua, T_1 y T_2

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 7 de 8
	Manual de Procedimiento Poder Calorífico del Gas	Calorímetro Cussons P5615

son la temperatura del agua a la entra y salida de los ductos, respectivamente.

- h. Compare los resultados de los 3 ensayos, promedie y obtenga un valor de poder calorífico final del gas.
- i. Realice las respectivas correcciones al promedio de las mediciones según sea el caso:

- **Corrección por la temperatura del agua de entrada**

Si la T del agua en la entrada esta más de 3°C por encima a la temperatura ambiente entonces sume 0,0671 MJ por cada 1°C que esté por encima.

Si la T del agua en la entrada esta más de 3°C por debajo a la Temperatura ambiente entonces reste 0,0671 MJ por cada 1°C que este por debajo.

- **Corrección por la humedad del aire**

Para considerar la perdida de calor en los gases de combustión y humedad del aire sume al promedio de LCV lo siguiente.

(Tescape-Testandar) *26.86/1000 [MJ/m3]

- j. Una vez finalizada la prueba, cierre la válvula de la fuente de gas y de agua, compruebe que la llama del quemador se apague totalmente y proceda a organizar el espacio de trabajo.

6. HOJA DE RESULTADOS

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS			HOJA DE RESULTADO S		
	MEDICIÓN DE PODER CALORÍFICO					
Tipos de Muestra	GLP					
Lugar de Ejecución	Laboratorio Petrofísicos					
CONDICIONES DE LABORATORIO						
Presión Atmosférica de _____ [psia] y Temperatura de _____ [K]						
Integrantes:						
RECOLECCIÓN DE DATOS PODER CALORÍFICO GLP						
Densidad GLP Condiciones Estándar: 2.109 Kg/m3						
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3			
Caudal Gas [ft3/seg]						
T escape [°C]						
P. Manométrica [psig]						
T entrada [°C]						
T salida [°C]						
Caudal Agua [m3/seg]				Media	HYSYS	% error
LCV [MJ/Kg]					45,99	
LCV [BTU/SCF]					2603,2	

Anexo B. Manual de Procedimiento
Higrómetro Chanscope II

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 3 de 6
	Manual de Procedimiento Punto de Rocío del Gas	Higrómetro Chandler Chanscope II

1. OBJETIVO

Determinar el punto de rocío de un gas usando el equipo Chandler Chanscope II

2. GLOSARIO

Punto de Rocío: Se define como la presión en la cual aparece la primera gota de líquido presente en el gas. Para una sustancia pura, el punto de burbuja y rocío es igual a la presión de vapor a la temperatura de interés. Este parámetro debe controlarse durante el transporte del gas para evitar que se presenten temperaturas por debajo del punto de rocío; esto podría generar diferentes problemas debido a la presencia de líquidos.

3. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- Revise las conexiones de gas en cada uno de los equipos y con una solución de agua y jabón, verifique que no exista fugas en las uniones.
- Asegúrese de tener el equipo trabajando en un lugar ventilado y alejado de dispositivos que puedan causar chispa como móviles, tabletas, etc. Una fuga no detectada puede ser causante de accidentes y el dióxido de carbono en lugares cerrados puede causar asfixia.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 4 de 6
	Manual de Procedimiento Punto de Rocío del Gas	Higrómetro Chandler Chanscope II

4. DESARROLLO

- a. Antes de abrir las válvulas de gas y de refrigerante asegúrese de que todas las válvulas de aguja del sistema están cerradas.
- b. Abra la válvula de la muestra de gas de manera lenta.
- c. Una vez abierta la fuente de gas, abra las válvulas de aguja del sistema de manera que garantice un flujo mínimo continuo a través de todo el sistema (El flujo se debe sentir apenas en la yema de los dedos en la salida final del gas). En esta etapa se deben graduar las válvulas de aguja de entrada y salida del sistema hasta obtener la presión requerida en el manómetro del instrumento. Como las válvulas de aguja son de alta precisión, es necesario apenas una pequeña manipulación para que la presión se altere de manera notoria.
- d. Una vez se tenga la presión requerida y un flujo constante de gas a través del sistema, abra el paso del cilindro de CO₂ y luego abra de manera gradual la única válvula de aguja de CO₂ que se encuentra en el instrumento. Esto permitirá un flujo de CO₂ a través del sistema que de igual forma debe ser mínimo.

Importante: Para que el CO₂ enfrié de manera óptima, la caída de presión debe generarse en la única válvula de aguja que está a lo largo de la línea de CO₂, por lo que el regulador del cilindro de CO₂ debe mostrar la misma presión antes y después del mismo, es decir; después del regulador, la presión debe ser la misma que la del cilindro, de esta forma el efecto Joule Thompson se produce en la zona que necesita enfriarse y no en el regulador.

 UIS Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS		Página 5 de 6
	Manual de Procedimiento Punto de Rocío del Gas		Higrómetro Chandler Chanscope II

- e. Teniendo la muestra de gas y el CO₂ en circulación, conecte y encienda el panel digital del Chanscope II y observe cómo desciende la temperatura del espejo en la cámara del gas. La velocidad de caída de la temperatura depende del flujo de CO₂, si se observa que está disminuyendo de manera rápida entonces es necesario disminuir el flujo del refrigerante usando la válvula de aguja.
- f. Observe a través del visor de manera constante hasta que pueda observar alteraciones dentro de la cámara de gas. Posterior a estas pequeñas alteraciones se genera un depósito de condensado de gas, estas alteraciones suelen ser diminutas gotas de gas formándose hasta que coalescen entre ellas y forman una acumulación muy notoria.
- g. Registre la temperatura exacta y la presión en la que se apreció la condensación.
- h. Repita los ensayos 2 veces más y verifique que exista repetibilidad en la prueba y que los resultados sean precisos.
- i. Finalizadas las pruebas, cierre las válvulas de los cilindros de gas y CO₂ y proceda a abrir las válvulas de aguja de todo el sistema de manera lenta para que el gas atrapado en la línea se libere.
- j. Proceda a dar por terminado la prueba y deje de manera organizada su espacio de trabajo.

5. HOJA DE RESULTADOS

	ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS		HOJA DE RESULTADOS	
	MEDICIÓN DE PUNTO DE ROCÍO		Página 1 de 1	
Tipos de Muestras:				
Lugar de Ejecución		Laboratorio Petrofísicos		
Integrantes:				
CONDICIONES DE LABORATORIO				
Presión Atmosférica de _____ [psi] y Temperatura de _____ °C				
DATOS				
Presiones [psig]	Punto de Rocío Analizado [°C]			
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Punto de Rocío Promedio

Anexo C. Manual de Simulación
Envolvente de Fase Aspen HYSYS® V10

	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS		Página 2 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase		Aspen HYSYS® V10

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	3
2. DESARROLLO.....	3

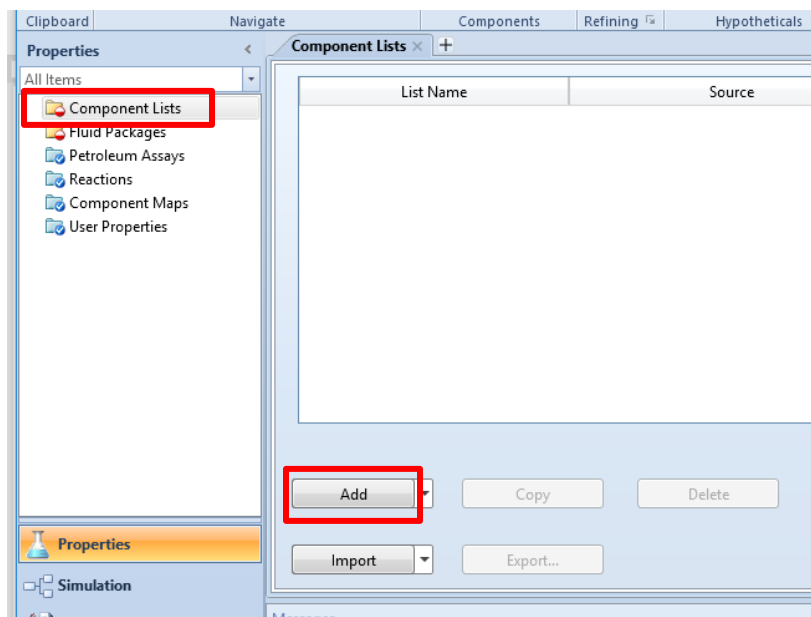
 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 3 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10

1. OBJETIVO

Determinar la envolvente de fase de un gas usando la simulación en Aspen HYSYS®.

2. DESARROLLO

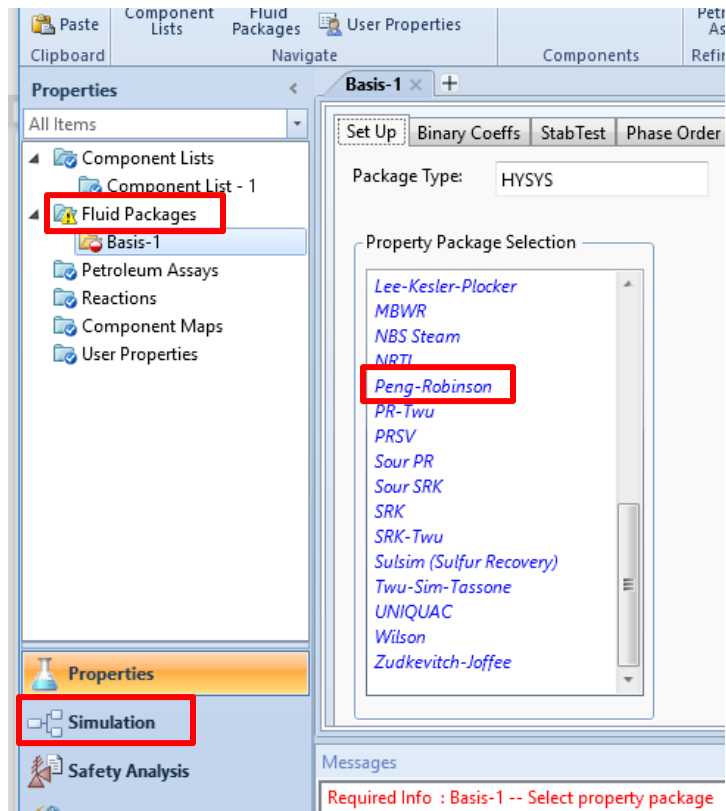
- Abra el software Aspen HYSYS® V10 e inicie un nuevo archivo de simulación.
- Agregue los componentes del gas al software; para esto debe ir al recuadro izquierdo seleccionando COMPONENT LIST y luego clic en el botón ADD como se muestra en la siguiente figura.



 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 4 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10

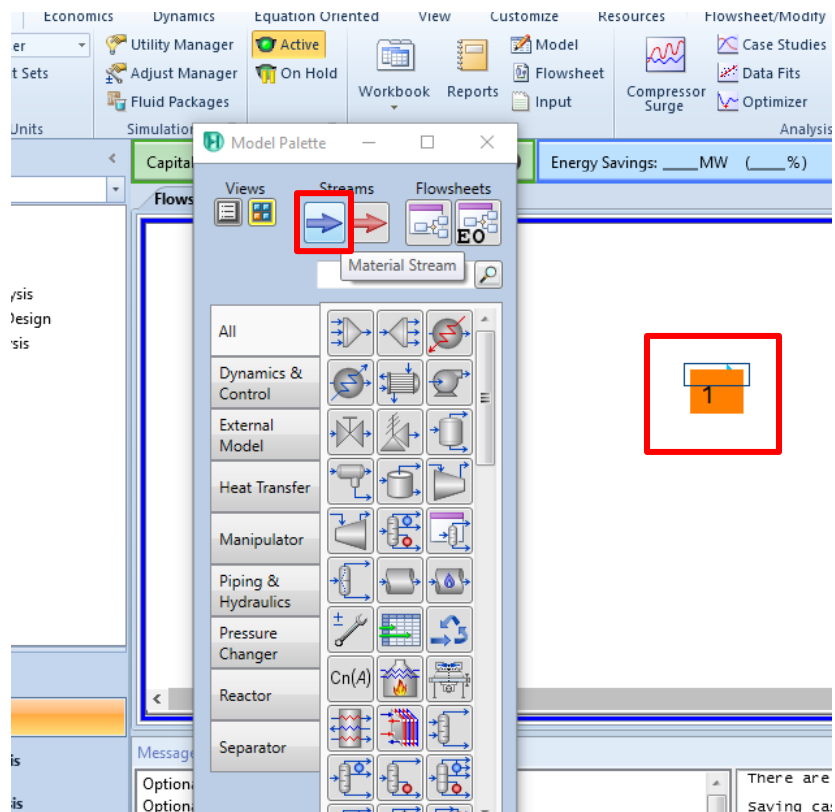
Aparecerán 2 recuadros, en el lado derecho busque y agregue cada uno de los componentes que irán apareciendo en el recuadro izquierdo.

- c. Donde selecciono anteriormente COMPONENT LIST seleccione el siguiente ítem llamado FLUID PACKAGES y haga clic en el botón ADD.
- d. Seleccione el paquete de Peng Robinson de la lista y haga clic en SIMULATION como aparece en la siguiente figura.



 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 5 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10

- e. Agregue una nueva corriente a la simulación seleccionado en la siguiente herramienta, la flecha azul de MATERIAL STREAM y haciendo clic en cualquier parte de la interfaz de simulación. La corriente debe tener una forma similar a la que aparece en la siguiente figura.



 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 6 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10

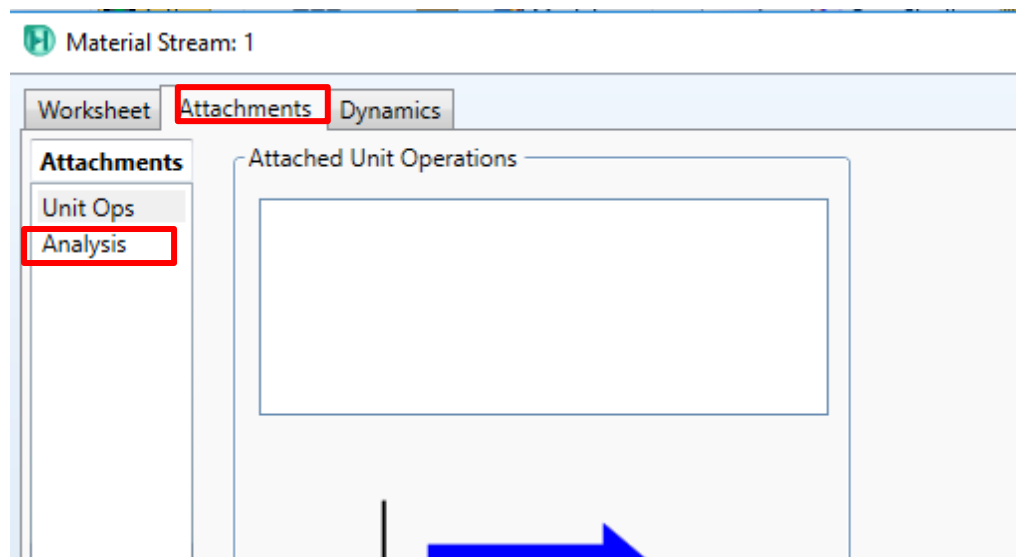
- f. Haga doble clic sobre la corriente nueva que se ha creado para modificar sus propiedades y luego haga clic en COMPOSITION. Deberá copiar o escribir la composición del gas de acuerdo a sus componentes, asegúrese de que los valores correspondan a cada componente y que este en fracción molar, normalice en caso de ser necesario y presiones OK.

Material Stream: 1

Worksheet Attachments Dynamics		
Worksheet	Mole Fractions	
Conditions	CO2	<empty>
Properties	Ethane	<empty>
Composition	Propane	<empty>
Oil & Gas Feed	i-Butane	<empty>
Petroleum Assay	n-Butane	<empty>
K Value	i-Pentane	<empty>
User Variables	n-Pentane	<empty>
Notes	n-Hexane	<empty>
Cost Parameters	Methane	<empty>
Normalized Yields	n-Heptane	<empty>
	n-Octane	<empty>
	n-Nonane	<empty>
	n-Decane	<empty>

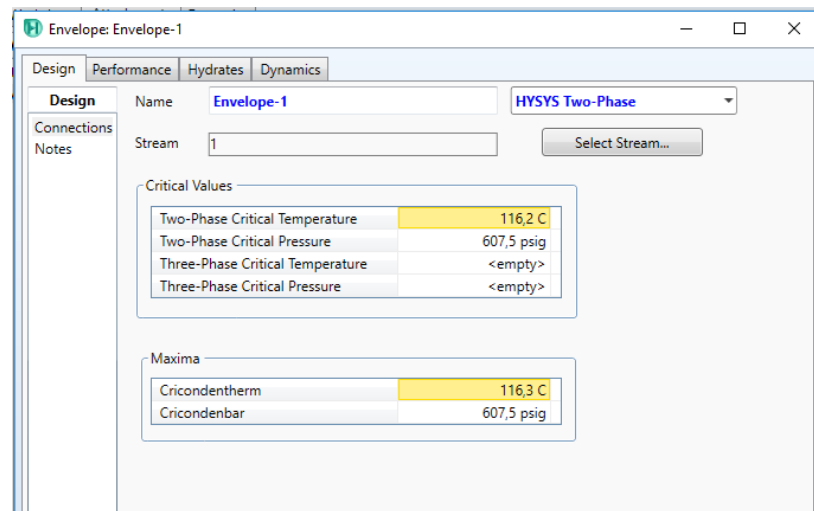
- g. Con la composición ya registrada vaya a la siguiente pestaña llamada ATTACHMENTS en la misma ventana y seleccione ANALYSYS.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 7 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10



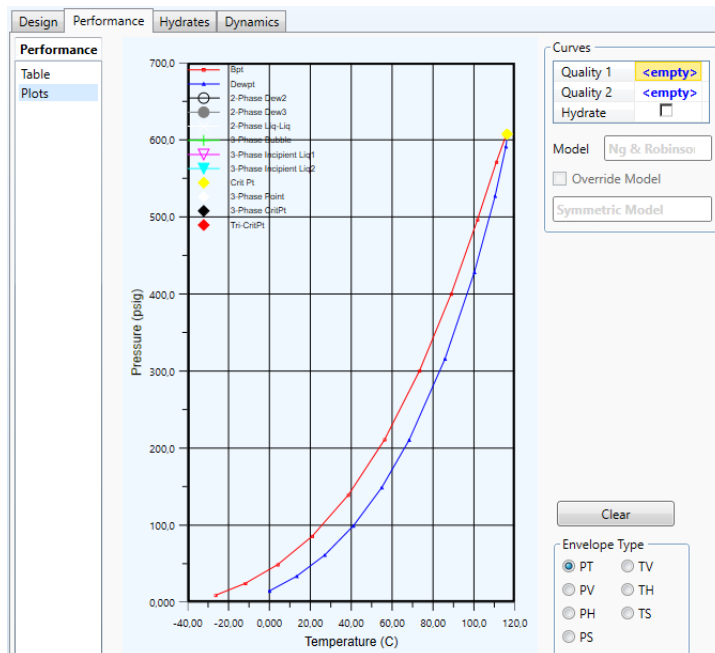
- h. Cree una envolvente para la simulación haciendo clic en CREATE y seleccionando ENVELOPE en la ventana emergente que aparece. Presione ADD y aparecerá la siguiente ventana.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 8 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10



- i. Seleccione la pestaña PERFORMANCE y busque el ítem llamado PLOTS en la parte izquierda de la ventana. Aquí mostrará la envolvente de fase del gas según la composición ingresada y este será el resultado.

 Universidad Industrial de Santander	ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS	Página 9 de 9
	Manual de Simulación Envolvente de Fase	Aspen HYSYS® V10



La línea azul es la línea de interés ya que es la línea de punto de rocío, e indica el comportamiento del punto de rocío a determinadas presiones.

La línea roja indica el punto de burbuja. Dadas las condiciones del gas, este puede encontrarse dentro o fuera de la envolvente, si las condiciones se encuentran por debajo de la línea de burbuja y por encima de la línea de punto de rocío quiere decir que el gas coexiste en 2 fases. Si se encuentra fuera de la envolvente el gas puede estar en fase totalmente líquida o gaseosa dependiendo si se ubica por encima o por debajo de la envolvente.