

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS CARLOS RAFAEL RODRIGUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD  
DE CIENFUEGOS  
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO.

*Evaluación del crudo Leona 24 en la unidad de Destilación  
Atmosférica de la Refinería Cienfuegos S.A.*

Autor: Adrián David Mena Barrios  
Tutores: Ing. Yanisleidy Gutiérrez Cantero  
DrC. Boris Gabriel Vega Lara

Cienfuegos, 2023

## **Agradecimientos A mis padres Adrián e Idania**

Por guiarme en este importante paso para mi proyecto final

## **Dedicatoria A mis padres Adrián e Idania y a mis hermanos.**

Que siempre estuvieron ahí para apoyarme.

## **Resumen**

El presente trabajo se desarrolló en la Refinería Cienfuegos S.A, específicamente en la Unidad de Destilación Atmosférica con el fin de evaluar el Leona 24 como materia prima a procesar en la torre de destilación. La destilación es un proceso físico de transferencia de masa y energía entre una fase líquido y una fase de vapor. Los componentes más ligeros se concentran en la fase vapor y los más pesados se concentran en la fase líquida, hasta que se alcanza un equilibrio termodinámico, que únicamente es función de la temperatura y de la presión del sistema permitiendo obtener los cortes y productos deseados. Se realizó un profundo análisis bibliográfico sobre la destilación atmosférica y la simulación de procesos. Se caracterizó el crudo Leona 24 atendiendo a su ASSAY para verificar como influye los rendimientos y calidades de sus cortes en la torre de destilación. Se evaluó el crudo Leona 24 atendiendo a las características definidas en ASSAY y las condiciones operacionales diseñadas para esta unidad. Además, se llevó a cabo la simulación de proceso mediante el software PRO/II para simular el comportamiento de las variables operacionales al introducir las características del crudo Leona24. En los resultados se definió si es posible procesar el crudo Leona 24 en la Unidad Destilación Atmosférica de la Refinería Cienfuegos S.A.

**Palabras claves:** destilación atmosférica, crudo de petróleo, simulación

## **Abstract**

This work was developed at the Cienfuegos S.A Refinery, specifically in the Atmospheric Distillation Unit in order to evaluate Leona 24 as raw material to be processed in the distillation tower. Distillation is a physical process of mass and energy transfer between a liquid phase and a vapor phase. The lighter components are concentrated in the vapor phase and the heavier ones are concentrated in the liquid phase, until a thermodynamic equilibrium is reached, which is only a function of the temperature and pressure of the system, allowing the desired cuts and products to be obtained. A deep bibliographic analysis was carried out on atmospheric distillation and process simulation. The Leona 24 crude oil was characterized based on its ASSAY to verify how it influences the yields and qualities of its cuts in the distillation tower. The Leona 24 crude oil was evaluated taking into account the characteristics defined in ASSAY and the operational conditions designed for this unit. In addition, the process simulation was carried out using the PRO/II software to simulate the behavior of the operational variables when introducing the characteristics of Leona24 crude oil. The results defined whether it is possible to process Leona 24 crude oil in the Atmospheric Distillation Unit of the Cienfuegos S.A. Refinery.

**Keywords:** atmospheric distillation, crude oil, simulation.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I : MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA .....	10
1.1 Composición de los crudos .....	10
1.2 Propiedades y características de los productos de refinación .....	10
1.2.1- Propiedades Principales de los Productos de la Refinación.....	11
1.2.2 Características de algunos productos de refinación.....	11
1.3-Proceso de refinación del petróleo.....	12
1.4 -Procesos y operaciones básicas de refinación .....	13
1.5-Destilación Atmosférica en la refinación de crudo. ....	13
1.6. Simulación de procesos.....	14
1.6.1. Programas utilizados en la simulación de procesos químicos .....	15
Conclusiones parciales.....	16
CAPÍTULO II Descripción del proceso tecnológico, características del crudo Leona 24 según el Assay y selección del programa de simulación.....	18
2.1 Caracterización de la entidad objeto de estudio.....	18
2.1.2. Caracterización de la materia prima .....	19
2.2. Descripción del proceso tecnológico de la Sección 100.....	20
2.3 Características del crudo Leona 24 según Assay .....	27
2.3.1 Metodología para Simulación de Procesos Industriales mediante el uso del simulador PRO/II .....	29
Conclusiones parciales.....	36
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
3.1 Resultados de la validación del modelo de simulación .....	37
3.3. Análisis de los resultados de la simulación.....	38
3.4. Análisis técnico de los resultados de la simulación .....	40
3.5. Análisis de resultados de los rendimientos obtenidos en la simulación .....	41
Conclusiones parciales .....	42
CONCLUSIONES .....	43

RECOMENDACIONES .....	43
BIBLIOGRAFÍA .....	44
ANEXOS .....	45

## INTRODUCCIÓN

Una Refinería de petróleo está constituida por una serie de procesos en los que, mediante separaciones físicas o transformaciones químicas, se fracciona y se modifican las características de las materias primas y se mezclan productos hasta obtener los productos deseados. Su objetivo fundamental es transformar, de una forma económica, el petróleo crudo en productos comercializables, como GLP, gasolinas, jet A-1, diésel y básicos para petroquímica.

La refinería Camilo Cienfuegos, objeto de este estudio, es una de las grandes inversiones que se iniciaron con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética, tiene una capacidad de destilación de 65 000 barriles por día, diseñada para procesar el crudo soviético Romaskino, considerado ligero medio de 33 ° API.

En el año 2007, y con la creación del ALBA. Cuba y Venezuela firmaron un contrato que permitió la reactivación y puesta en marcha de la Refinería a partir de un estudio de factibilidad económica, donde se obtuvo la mezcla óptima de 12% volumen de crudo Merey 16 y 88 % volumen de Mesa 30 (Blend 28) como materia prima en el esquema de refinación primario, que está constituido por una unidad de destilación atmosférica con cuatro torres (destilación atmosférica, desgasolinadora, despojadora y estabilizadora) y un nudo de mezcla, una unidad de reformación catalítica, una planta MEROX para tratamiento del turbo combustible y una unidad de fraccionamiento de GLP.

Actualmente debido a la disminución de la producción del crudo Blend 28 se requiere procesar en la Refinería Cienfuegos, S.A el crudo Leona 24 API°, por lo que es necesario realizar cambios operacionales y/o de diseño en las unidades que permita asimilar esta dieta propuesta.

### **Problema científico**

En las actuales condiciones de operación, la torre de destilación atmosférica de la Refinería Cienfuegos S.A. nunca ha procesado el crudo Leona 24 como materia prima.

### **Hipótesis**

Si se evalúa el crudo, Leona 24, a través de un simulador en la torre de destilación atmosférica; se podrá tener mayor conocimiento en el proceso tecnológico y conocer el punto de funcionamiento de los parámetros de operación.

### **Objetivo general**

Evaluar el crudo Leona 24 en la torre de destilación atmosférica de la refinería Cienfuegos S.A. mediante la simulación.

### **Objetivos específicos**

1. Establecer los fundamentos teóricos sobre la destilación atmosférica y la simulación de procesos.
2. Caracterizar el crudo Leona 24 de acuerdo al ASSAY como materia prima de la torre de destilación atmosférica.
3. Simular el crudo Leona 24 atendiendo a las características propias y las condiciones operacionales diseñadas para esta unidad.
4. Evaluar el crudo Leona 24 mediante el software PRO/II.

Este Trabajo quedará estructurado de la siguiente forma

**CAPITULO I: Marco Teórico conceptual del proceso de destilación atmosférica.**

En este capítulo se realiza una búsqueda sobre el proceso de destilación atmosférica, resaltando las características de los internos utilizados en las torres, los problemas más frecuentes y los parámetros de calidad de los productos de destilación, así como las consideraciones a tener en cuenta en el diseño de la misma. Se investiga sobre el uso de simuladores utilizados en la evaluación de procesos, así como la estimación de costos en proyectos de ingeniería.

**CAPITULO II: Descripción del proceso tecnológico, características del crudo Leona 24 según el Assay y selección del programa de simulación**

Se desarrolla una descripción de la unidad de destilación atmosférica, Características del crudo Leona 24 así como la metodología para selección del modelo de simulación.

**CAPÍTULO III: Análisis de los resultados y discusión**

Sea desarrolla la simulación mediante la corrida del crudo Leona 24 utilizando el software PRO/II. Se analizan los resultados de las variables de operación y los rendimientos.

# **CAPÍTULO I : MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA**

## **1.1 Composición de los crudos**

El petróleo crudo es un líquido oscuro con una viscosidad a 40° C que puede oscilar entre 5 y 3000 cSt. Se extrae de yacimientos naturales encontrados a diferentes profundidades de la tierra. El petróleo líquido está compuesto por cantidades diferentes de gases disueltos y líquidos (Murrugarra, 2009).

La composición del petróleo varía en función de dónde se encuentre el yacimiento.

Los elementos predominantes son el carbono (83,0 % a 87,0 % peso) y el hidrógeno (10,0 % a 14,0 % peso), apareciendo también azufre (desde trazas hasta un 6 % peso), nitrógeno (hasta un 2,0 % peso), oxígeno (hasta 1,5 % peso) y menor cantidad de metales y otros no metales. La presencia de níquel y de vanadio es frecuente, pudiendo sobrepasar en conjunto las 1000ppm (Cortes, 2014).

El petróleo crudo que sale de los pozos es casi inaprovechable, motivo por el cual ha de ser tratado a fin de obtener la parte aprovechable. Este proceso se le llama refinación.

Del proceso de refinación de crudos se obtienen productos como: nafta, GLP, diésel, fuel oíl, gasóleo de vacío, asfaltos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones de calidad como son: densidad, viscosidad, azufre, etc.

## **1.2 Propiedades y características de los productos de refinación**

### **Generalidades**

Las operaciones básicas de la industria de refinación, dan lugar a un conjunto de productos de uso energético directo, otros con diferentes aplicaciones y también otros utilizados como materia prima. De forma genérica pueden listarse los siguientes (Lluch, 2008):

- Gases licuados (LPG): Propano más Butano.
- Gasolinas automotor y aviación.
- Combustibles o querosenos de aviación.
- Gasóleos
- Fuel oíl para hornos, calderas industriales, calefacción, centrales térmicas, grupos electrógenos, etc.
- Disolventes.
- Gasóleo de vacío
- Bitumen para la fabricación de asfaltos.

- Coque combustible y para fabricación de electrodos.
- Productos derivados y especialidades (Azufre, Extractos aromáticos, parafinas, etc.).

El rendimiento que de cada producto se obtiene en una refinería dependerá del crudo procesado y el sistema de procesos utilizados (esquema de refinación) (Lluch, 2008).

### **1.2.1- Propiedades Principales de los Productos de la Refinación.**

#### **Destilación ASTM-D86**

Es una prueba rápida y no costosa para evaluar el rango de destilación de la fracción, se lleva a cabo en condiciones atmosféricas y ocurre un considerable craqueo de la muestra cuando se alcanza una temperatura de 343 °C. En este método se destila una muestra de 100 ml en las condiciones especificadas, efectuándose observaciones sistemáticas de las temperaturas y los volúmenes de condensado recogido. Las temperaturas no necesariamente corresponden al punto inicial de ebullición del material en la mezcla. El punto final es más bajo que el del material más pesado de la mezcla (Varela, 2013).

#### **Azufre**

El azufre puede presentarse como ácido sulfhídrico disuelto, también puede encontrarse formando parte de compuestos hidrocarbonados como mercaptanos, sulfuros, tiofenos y benzotiofenos polisustituídos (Lluch, 2008).

#### **Viscosidad**

Se determina normalmente la viscosidad cinemática, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión y se mide como el tiempo que un líquido tarda en descender en condiciones de gravedad a través de una restricción calibrada. Sus unidades son [m<sup>2</sup>/s]. Sin embargo, la unidad que se usa para definir la viscosidad cinemática para referirse a los crudos o fracciones del petróleo es el “Stoke” (St) o “centiStoke” (cSt) aunque en ocasiones, estos valores pueden encontrarse en Segundos Saybolt Universal o en Segundo SayboltFurol, existiendo las tablas correspondientes para su conversión (Cortes, 2014).

### **1.2.2 Características de algunos productos de refinación**

En la unidad de destilación atmosférica se obtienen los siguientes productos, empezando por la parte superior (tope) de la columna Según Tablas 1.1 y 1.2:

- **Gas de refinería (Fuel Gas):** Es una mezcla de todos los compuestos incondensables (esencialmente hidrógeno, metano, etano y etileno), presentes de forma natural en el

crudo que se está procesando. Este combustible se utiliza en refinería, después de endulzarlo (eliminarle los compuestos sulfurados), para quemarlo en los diferentes procesos.

- **Gas licuado de petróleo (GLP):** Se separan sus diferentes compuestos para su venta individualizada, esencialmente propano y butano.
- **Nafta ligera :** Se envía como carga para isomerización para mejorar su *research octane number* (RON) y *motor octane number* (MON), (octanaje) y formar parte de las corrientes de gasolinas de automoción, que se formulan en el sección de mezclado *blending*.
- **Nafta pesada:** Se envía como carga al reformado catalítico, para mejorar su RON y formar parte de las corrientes de gasolinas de automoción.
- **keroseno:** Una vez endulzado, es la base de la producción de turbo combustible, para las turbinas de los aviones.
- **Gas Oil Ligero:** Se envía a unidades de desulfuración, para eliminar los compuestos de azufre e incorporarlo a la mezcla de formulación de gasóleos de automoción.
- **Gas Oil Pesado:** Se envía a unidades de desulfuración, para eliminar los compuestos de azufre e incorporarlo a la mezcla de formulación de gasóleos de automoción.
- **Gas Oil Atmosférico:** Se utiliza como una de las alimentaciones a la unidad de *cracking* catalítico.
- **Residuo Atmosférico:** Es la fracción más pesada del crudo, por lo que se le denomina también crudo reducido y se utiliza como alimentación a la unidad de destilación a vacío.

### 1.3-Proceso de refinación del petróleo

El refino de hidrocarburos consiste en el empleo de sustancias químicas, catalizadores, calor y presión para separar y combinar los tipos básicos de moléculas de hidrocarburos que se hallan de forma natural en el petróleo crudo, transformándolos en grupos de moléculas similares. Es decir: se reorganizan las estructuras y los modelos de enlaces de las moléculas básicas y se convierten en moléculas y compuestos de hidrocarburos con más valor (Kraus, 2014).

#### 1.4 -Procesos y operaciones básicas de refinación

Los procesos y operaciones de refino de petróleo se clasifican básicamente en (Kraus, 2014):

- a) Separación:** El petróleo crudo se separa físicamente, mediante fraccionamiento en torres de destilación atmosféricas y de vacío, en grupos de moléculas de hidrocarburos con diferentes intervalos de temperaturas de ebullición, denominados “fracciones”.
- b) Conversión:** Los procesos de conversión más utilizados para modificar el tamaño y/o la estructura de las moléculas de hidrocarburos, son los siguientes:
  - descomposición (división) mediante hidrocraqueo, craqueo térmico y catalítico, coquización y ruptura de la viscosidad
  - unificación (combinación) mediante alquilación y polimerización
  - alteración (rectificación) con isomerización y reforma catalítica
- c) Tratamiento:** Implica reacciones químicas y separación física mediante varios procesos y combinaciones de procesos, como: disolución, absorción o precipitación
- d) Formulación y mezcla:** consistente en mezclar y combinar fracciones de hidrocarburos, aditivos y otros componentes para obtener productos acabados con unas propiedades específicas de rendimiento idóneo.
- e) Operaciones auxiliares:** Otras operaciones de las refinerías necesarias para dar soporte al procesado de los hidrocarburos son la recuperación de residuos ligeros; la eliminación del agua amarga; el tratamiento y refrigeración de residuos sólidos, aguas residuales y agua de proceso; la producción de hidrógeno; la recuperación de azufre, y el tratamiento de gases ácidos y gas residual.  
Uno de los procesos para refinar el petróleo es la destilación al vacío, donde se logra la vaporización adicional de un producto que se denomina gasóleo de vacío, y se utiliza como materia prima en otros procesos que forman parte de las refinerías para lograr la conversión de este producto pesado en otros ligeros de mayor valor.

#### 1.5-Destilación Atmosférica en la refinación de crudo.

La destilación atmosférica de crudo es la primera etapa importante en la refinería. Se utiliza para separar el crudo de petróleo en fracciones de acuerdo con su punto de ebullición. A continuación, se muestra una tabla con los intervalos característicos de ebullición de las fracciones de crudo de petróleo

**Tabla 1.1**

<b>Fracción</b>	<b>Intervalos de ebullición</b>	
	<b>ASTM (°F)</b>	<b>PEV (°F)</b>
Butanos y más ligeros		
Gasolina ligera (LSR)	90-220	90-190
Nafta (gasolina pesada directa)	180-400	190-380
Queroseno	330-540	380-520
Gasóleo ligero (GOL)	420-640	520-610
Gasóleo atmosférico	550-830	610-800
Gasóleo a vacío (GOV)	750-1050	800-1050
Crudo reducido de vacío	1000+	1050+

El crudo es calentado a elevada temperatura y sometido a destilación fraccionada a presión atmosférica separando las diversas fracciones de acuerdo a su intervalo de ebullición. Las corrientes obtenidas de la torre de destilación serán la base de los diferentes productos de refino. Estas corrientes serán tratadas posteriormente para ajustes de propiedades o bien serán la carga de diversos procesos de transformación existentes en la refinería.

### **1.6. Simulación de procesos**

La simulación se define como una técnica para evaluar de forma rápida un proceso con base en una representación del mismo mediante modelos matemáticos. La solución de éstos se lleva a cabo por medio de programas computacionales y permite tener un mejor conocimiento del comportamiento del proceso (Martínez, y otros, 2000).

En general la simulación de procesos se ha convertido en una herramienta para los ingenieros químicos. El uso de los simuladores tiene como ventajas la reducción del tiempo de trabajo, permite mejorar procesos y realizar la evaluación económica en una planta o proceso (Han and Perozo, 2014).

Otro aspecto importante en los simuladores de procesos es la estimación de propiedades termodinámicas y de transporte de las corrientes del proceso, las cuales se determinan mediante métodos o paquetes termodinámicos. Estas propiedades son fundamentales

para obtener los balances de masa y energía. Si se tienen buenos datos o buenas correlaciones para las propiedades, entonces los resultados de la simulación serán altamente confiables.

Los métodos termodinámicos de mayor aplicación según Varela(2013) son:

#### **Soave–Redlich–Kwong (SRK) y Peng – Robinson (P-R)**

SRK y P-R dan excelentes resultados de 0 a 34,5 MPa y en un extenso intervalo de temperatura, desde - 238 °C hasta 343°C. Los modelos SRK y P-R se usan ampliamente para una variedad de mezclas de hidrocarburos livianos y medios; no se recomiendan para sistemas muy alejados de la idealidad.

#### **Braun K-10 (BK10)**

El método termodinámico Braun K-10 (BK10), se utiliza en simulaciones de condiciones de proceso en la refinación de hidrocarburos pesados a bajas presiones. Es ideal para columnas de destilación al vacío. Posee los siguientes intervalos de aplicación: presión entre 0 – 0,7 MPa; temperatura desde 38 °C a 871 °C y componentes recomendados C6 y mayores.

Existe actualmente una gran variedad de simuladores de procesos comerciales, los cuales cuentan con enormes bases de datos y un fuerte respaldo de bibliotecas para cálculos de equipos y bibliotecas de modelos para cálculos termodinámicos, que le dan al simulador la ventaja de una gran versatilidad (Ramírez, 2005).

### **1.6.1. Programas utilizados en la simulación de procesos químicos**

- **Dynsim**

Es un programa de simulación de procesos completo y dinámico que permite a los usuarios cumplir y superar los retos dinámicos de diseñar y operar una planta procesadora moderna de forma segura y rentable (Dynsim, 2015).

- **PRO/II**

Es el programa de insignia *SimSci-Esscor's Process Engineering Suite (PES)* y muy utilizado en la industria del gas natural, refinación de petróleo, petroquímica y química en general. Este programa permite modelar el comportamiento operacional de plantas químicas y cuantificar el efecto que tiene modificar los valores de ciertas variables sobre el proceso. Adicionalmente, presenta una amplia base de datos de propiedades de compuestos químicos, una gran variedad de métodos para la predicción de propiedades termodinámicas y utiliza técnicas avanzadas para la resolución de las operaciones unitarias. Mediante este programa se pueden modelar y optimizar procesos de

transferencia de masa y calor, evaluar las condiciones y restricciones operacionales de equipos que incluyen intercambiadores de calor, mezcladores, columnas, reactores, compresores, bombas, tambores, separadores, divisores, ciclones, entre otros, de cualquier planta química, ya sea en una refinería o petroquímica. Se utiliza por diversas compañías tales como PDVSA, Exxon, Technip y Axens para el diseño y evaluación de unidades de destilación (Varela, 2013).

- **Aspen Plus**

El sistema avanzado para ingeniería de procesos *Advanced System for Process Engineering* es en el mercado, el líder en herramientas de modelación de proceso, de diseño conceptual, optimización y monitoreo del desempeño, para la industria química, polímeros, especialidades químicas, metales y minerales. *Aspen Plus* es un simulador estacionario, secuencial modular (en las últimas (Aspen Technologic, 2015).

- **Chemcad**

Este sistema es muy usado en todo el mundo para el diseño, operación y mantenimiento de procesos químicos en una gran variedad de industrias incluyendo la exploración de petróleo y gas; y naturalmente en procesos químicos, farmacéuticos, biocombustibles y procesos de fábricas industriales.

- **Hysys**

Fue adquirido por *AspenTech* en el 2004 por lo que se desarrolla en la actualidad por *Aspen Technology*. Es un simulador bidireccional, ya que el flujo de información va en dos direcciones (hacia delante y hacia atrás). De esta forma, puede calcular las condiciones de una corriente de entrada a una operación a partir de las correspondientes a la corriente de salida sin necesidad de cálculos iterativos (Henao, 2002).

- **Petro-SIM. 6.0**

Es un completo simulador gráfico de procesos que combina la destacada tecnología Profimatics de KBC y modelos de procesos comprobados para efectuar simulaciones rigurosas de refinerías y plantas petroquímicas

### **Conclusiones parciales**

1. El petróleo está constituido por una mezcla de hidrocarburos de diferentes pesos moleculares con contenidos variables de impurezas.
2. Las refinerías de petróleo se pueden caracterizar en simples o complejas, según sea el esquema de refinación.
3. La destilación es un proceso físico de transferencia de masa y energía entre una fase líquida y una fase vapor.

4. La destilación atmosférica constituye la primera etapa en la refinación de crudo, con el objetivo de la vaporización parcial y separación por condensación a diferentes temperaturas de distintas fracciones.
5. La simulación de procesos es una práctica mundial utilizada en la evaluación y el diseño de procesos en la industria del petróleo pues reduce el tiempo de trabajo, permite mejorar procesos y realizar la evaluación económica.
6. Dentro de los simuladores que se comercializan el simulador Pro II es uno de los más utilizados por las compañías de diseño en las torres de destilación.

## **CAPÍTULO II Descripción del proceso tecnológico, características del crudo Leona 24 según el Assay y selección del programa de simulación.**

El presente capítulo tiene como objetivo, hacer un análisis de la recopilación de datos, del procesamiento de los mismos y del análisis e interpretación de los resultados, también realizar la caracterización del crudo recibido y la calidad de la preparación del crudo, obtenida en la electro-deshidratadora, antes del inyectar a la torre T-01-101 en la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”.

### **2.1 Caracterización de la entidad objeto de estudio.**

La refinería de Petróleo -Camilo Cienfuegos se encuentra ubicada en la finca Carolina, al norte de la bahía de Cienfuegos entre los ríos Salado y Damují, ocupando sus instalaciones 320 ha. La refinería es una de las grandes inversiones que se inician en la década del 80 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética, comenzando su etapa de proyección y movimiento de tierra en el período comprendido entre 1977 y 1983, su construcción y montaje se enmarca entre 1983 y 1990.

En 1990 comienzan los trabajos de ajustes y puesta en marcha del complejo mínimo de arrancada, realizándose en 1991 las primeras pruebas con carga que dieron lugar a la primera producción. Quedando declarada por la Comisión Nacional del Sistema de Dirección de la Economía como empresa, el 22 de mayo de 1992, mediante la Resolución 690/1992.

La empresa a partir de la paralización de las plantas para la refinación, comienza una etapa de negociaciones sucesivas con diversas firmas extranjeras para la obtención del capital y los mercados necesarios para su arrancada, pero estas no resultan. Paralelamente se comienza a aprovechar sus facilidades tecnológicas como centro de transbordo para la prestación de los siguientes servicios:

- 1- Consignación de combustibles
- 2- Almacenamiento de productos
- 3- Operaciones de manipulación a entidades de la Unión del Combustible

Con la caída de la Unión Soviética, desaparecen también los suministros estables de crudo y en 1995 es necesario paralizar la planta de procesos de refinación y utilizar solo la capacidad instalada para la recepción, almacenamiento y entrega de productos derivados del petróleo, que eran necesario almacenar y distribuir en toda la región central de Cuba.

Hasta el 10 de abril del 2006 que en el marco de la Alternativa Bolivariana para las Américas (ALBA) se crea la empresa mixta PDV CUPET, S.A. entre las compañías petroleras PDVSA de Venezuela y CUPET de Cuba, con el objetivo de reactivar la refinería de petróleo de Cienfuegos y en este sentido comercializar los productos resultantes de la refinación, tanto en Cuba como en el extranjero.

Actualmente la Refinería de Cienfuegos pertenece a la corporación CUVENPETROL, dentro de la cual es una Unidad de Negocio

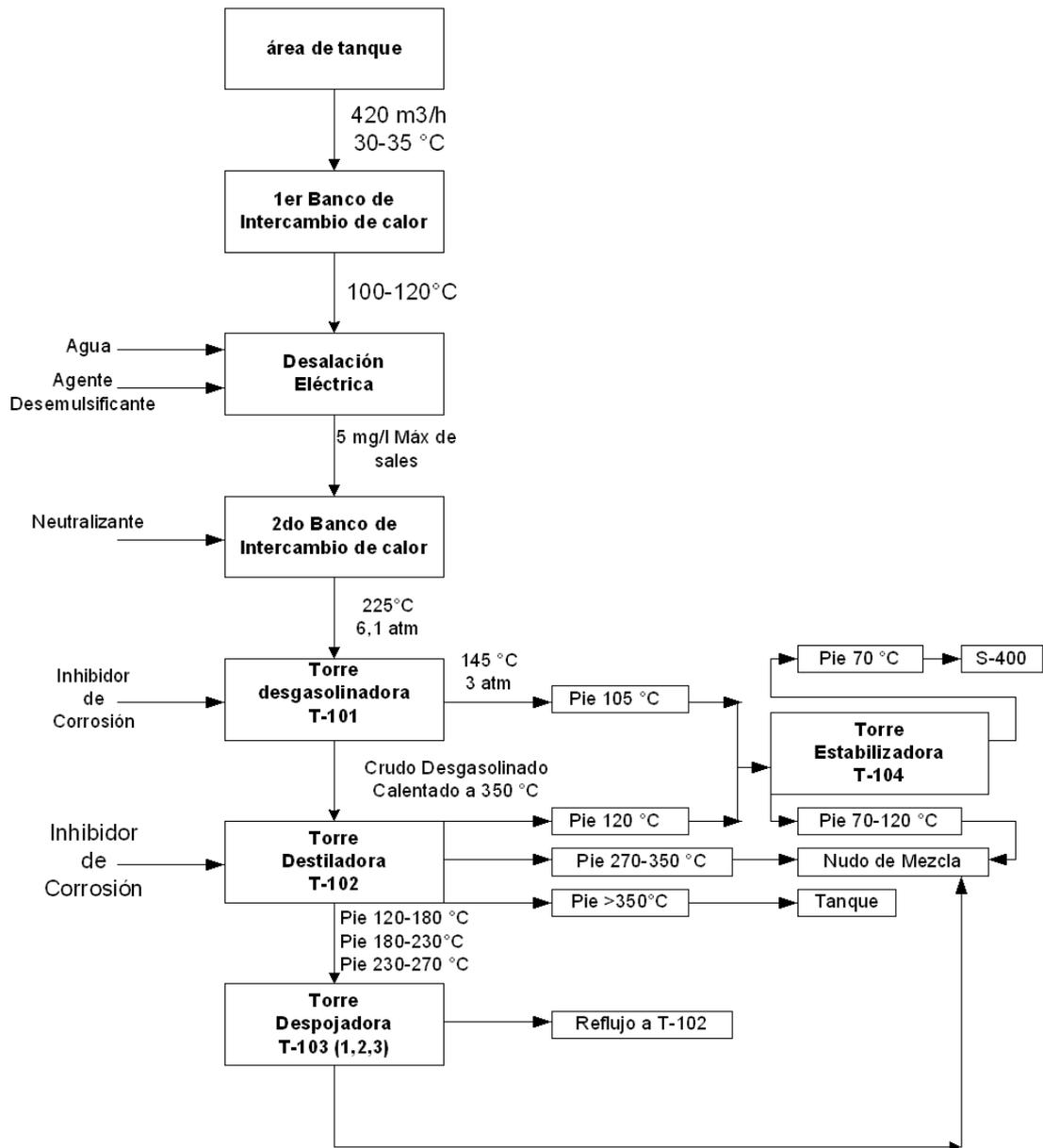
### **2.1.2. Caracterización de la materia prima.**

La Planta de Destilación Atmosférica está destinada para procesar 57048 barriles por día (BPD) de Crudo Mesa 30oAPI y 7952 BPD de Crudo Merey 16oAPI, dando un total de 65000 BPD.

A continuación, se hace una descripción del proceso de operación normal de preparación del crudo para inyectar a la torre T101 de la sección 100 (Destilación Atmosférica). Para mayor entendimiento de la descripción del proceso, se muestra el diagrama de flujo del proceso a evaluar, de manera sencilla, a modo de visualizar sin muchos detalles.

## 2.2. Descripción del proceso tecnológico de la Sección 100.

### Esquema tecnológico.



El proceso se efectúa por medio de métodos físico-químico, entre los químicos están la desalación y deshidratación, y entre los físicos la rectificación y el intercambio de calor. Todo el proceso se verifica en dos etapas:

- **La desalación eléctrica.**
- **La destilación atmosférica.**

En el proceso se obtienen las siguientes fracciones:

- PIE-70 °C Inestable.
- Fracción 120-180 °C.
- Fracción 180-230 °C.
- Fracción 230-270 °C.
- Fracción 270-350 °C.
- Fuel Oil (crudo reducido).

Estas fracciones se mezclan y pasan a formar parte de la alimentación en otras secciones de la planta combinada o salen como productos terminados, los cuales son:

- Fracción 70-180 °C (gasolina, alimentación a la sección 200).
- Fracción 120-230 °C (turbo combustible Jet-A1).
- Fracción 180-350 °C (diesel).
- Fracción >de 350 °C (fuel- oil).

### **Desalacion eléctrica.**



**Figura 2.2 Etapa de desalación eléctrica.**

El agua contenida en el petróleo con sales disueltas en ella, esencialmente con cloruros, no solamente constituye una impureza, sino que provoca una fuerte corrosión en los

equipos del proceso y empeora la calidad de los combustibles que son inyectado<sup>1</sup> para los procesos catalíticos.

El Crudo proveniente de la Estación de Bombeo de Crudo es descargado hacia el primer banco de intercambiadores a una temperatura de 30-40 °C, con un flujo de 420 m<sup>3</sup>/h. Este tren de intercambiadores cuenta con dos ramales en paralelo conformado, cada uno, por cuatro intercambiadores en serie. Cada ramal se calienta sucesivamente, en un banco de intercambiadores con reflujos recirculantes de la Torre T-102 y Fuel-Oíl.

Finalmente, ambos ramales se unen para llevar el Crudo precalentado a una temperatura de 80-120 °C y a una presión de 11-12 kgf/cm<sup>2</sup> (atm), al sistema de Desalación Eléctrica.

El Sistema de Desalación Eléctrica cuenta con dos etapas de Desalación cada una con un Sistema de Lavado con Agua.

A la succión de la bomba de carga a la planta, se inyecta una solución desemulsificante (progalita), proveniente del bloque de reactivos químicos. Esto con la finalidad de ayudar la destrucción rápida y completa de la emulsión formada mediante la disminución de la tensión superficial de las gotas de agua a través de un campo eléctrico y lograr la desalación del Crudo en el proceso.

La primera etapa, cuenta con dos electros deshidratadores, los cuales trabajan en paralelo. La alimentación a los mismos es a través de eyectores donde se mezcla el Crudo con agua proveniente del Sistema de Lavado.

La salida de ambos electros deshidratadores se une, la cual es la alimentación de la 2<sup>da</sup> etapa de Desalación.

La operación de los electros deshidratadores de la 2<sup>da</sup> etapa, es similar al de la primera etapa. La alimentación a los mismos es a través de los eyectores, mezclando en estos el crudo con agua fresca proveniente del tambor abastecido del agua recirculante del primer sistema de enfriamiento.

En general, para extraer las sales el petróleo, se mezcla con intensidad con el agua dulce en los eyectores y la emulsión formada entre el agua y el petróleo se destruye y se dispersa en un campo eléctrico de los electros deshidratadores.

Por la parte inferior de los electros deshidratadores se drena el agua conteniendo las sales mientras el crudo desalado se extrae a un nivel superior.

## Destilación atmosférica.



**Figura 2.3 Etapa de destilación o Separación.**

El crudo desalado es calentado hasta la temperatura de inyección a la T-101 (Torre Desgasolinadora), en el segundo banco de intercambiadores donde el flujo principal se divide en dos ramales en paralelo conformado cada uno, por cuatro intercambiadores en serie. En esta etapa el crudo alcanza una temperatura de 225 °C al intercambiar en una primera etapa con la fracción 270-350 °C y en una segunda etapa con crudo reducido proveniente ambas corrientes de la columna T-102. En la línea de alimentación del segundo banco de intercambiadores, se le inyecta una solución al 2% de inhibidor de corrosión, proveniente del bloque de reactivos químicos. Finalmente luego del segundo banco de intercambiadores, el crudo calentado desalado y deshidratado, a una presión 6,1 kgf/cm<sup>2</sup> (atm) se dirige a la Torre Desgasolinadora T-101.

Por la línea de alimentación a la Torre Desgasolinadora T-101, se le inyecta una solución de álcali al 1% en caso de ser necesario según la acidez contenida en el crudo de inyectar, proveniente del bloque de reactivos químicos. La alimentación a la torre se distribuye en varias entradas en los platos 7 y 9.

Por el tope de la Torre sale la fracción pie 105 °C, a una temperatura de 145 °C y a una presión de 3 kgf/cm<sup>2</sup> (atm), hacia los enfriadores por aire, gran parte se condensan en dichos enfriadores y de allí van al tambor de reflujo del tope de la T-101 (D-103) con una temperatura de 77 °C. En la línea de salida de los gases del tope y en la línea de reflujo de la Torre T-101, se inyecta solución al 2% de inhibidor de corrosión (19,9 g/ton de crudo), procedente del bloque de reactivos. El reflujo es retornado desde el Tambor de Reflujo en el tope de la Torre T-101 en una relación tal, capaz de mantener estable y en los niveles deseado la temperatura en esta sección de la torre. El exceso de reflujo va a los enfriadores y constituye el inyectar a la torre T-104. En este tambor de reflujo se hacen

extracciones de agua sulfhídrica que es enfriada y va hacia la planta de tratamiento de residuales.

Desde el fondo de la torre sale crudo desgasolinado, una parte pasa a través de un horno para reinyectarlo por dos corrientes en forma de chorro caliente a la Torre T-101 por debajo del plato 1 con el objetivo de mantener la temperatura de trabajo de la columna. El exceso de fondo alimenta a la columna de destilación atmosférica luego de pasar por un horno que cuenta con tres cámaras para garantizar la temperatura adecuada del inyector. En la línea de salida del tope y en la línea de reflujo de la Torre T-102, se inyecta al 2% inhibidor de corrosión, procedente del bloque de reactivos.

Por el tope de la Torre sale la fracción pie 120 °C hacia enfriadores de aire a una temperatura de 110°C y a una presión de 0,7 kgf/cm<sup>2</sup>. Esta fracción se enfría hasta una temperatura 70 °C y va al tambor de reflujo del tope T-102. Desde el Tambor de reflujo el producto va a un enfriador por aire y de allí pasa a un enfriador por agua. Posteriormente es retornada hacia el tope de la torre. En el tambor de reflujo se hacen extracciones continuas de agua sulfhídrica con una bomba, esta se descarga a través de un enfriador hacia la planta de tratamiento de residuales.

**De la Torre T-102, se extraen cuatro cortes laterales:**

- **La Fracción 120-180°C**, se extrae por los platos 45 y 47 y va a la parte inferior de la primera sección de la Torre Despojadora T-103, a una temperatura de 146 °C. Para despojar las fracciones ligeras, se suministra vapor de agua sobrecalentado, la fracción ligera y los vapores de agua que salen del tope de la despojadora entran a la Torre T-102 en el plato 48 a una temperatura de 144°C. La fracción de fondo es bombeada hacia un enfriador por aire y posteriormente pasa a un intercambiador por agua para finalmente llegar al Nudo de Mezcla.
- **La Fracción 180-230°C**, se extrae de los platos 34 y 36 y va a la parte inferior de la segunda sección de la Torre Despojadora T-103, a una temperatura 201°C. Para despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua salen del tope de la despojadora y entran a la Torre T-102 por el plato 37 a una temperatura de 198°C. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un enfriador por aire para finalmente llegar al Nudo de Mezcla.
- **La Fracción 230-270°C**, se extrae de los platos 22 al 24 y va a la parte inferior de la tercera sección de la Torre Despojadora T-103, a una temperatura 265 °C. Para

despojar las fracciones ligeras, es suministrado vapor de agua sobrecalentado. La fracción ligera y los vapores de agua sale del tope de la despojadora y entran a la Torre T-102 por el plato 25 a una temperatura de 259 °C. Por el fondo la fracción es bombeada hacia un intercambiador luego a enfriadores para ir al Nudo de Mezcla.

- **La Fracción 270-350°C**, se extrae de los platos 12 al 14. Este corte se divide en dos ramales y va al 2<sup>do</sup> banco de intercambiadores para ceder calor al crudo desalado con una temperatura de 335 °C.

De la Torre T-102, se extraen tres reflujos recirculantes, los que son aprovechados para ceder calor en el 1<sup>er</sup> banco de intercambiadores y así precalentar el crudo, antes de su desalación.

Del fondo de la T-102, se extrae el crudo reducido (fuel) que cede calor en el segundo banco de intercambio al inyector de la T-101 después se dirige al primer banco de intercambiadores para ceder calor en contracorriente al crudo que se precalienta. Luego el crudo reducido sale hacia los enfriadores por aire, de estos enfriadores sale a intercambiar calor para lograr la temperatura de almacenamiento y luego va hacia el patio de Tanques.

La torre (T-103) cuenta con tres secciones donde a cada una de ellas llegan las fracciones desde la Torre de Destilación Atmosférica T-102.

La torre estabilizadora (T-104) es alimentada con el exceso de gas y reflujo de tope de la T-101 y T-102 los cuales forman la fracción 70-120 °C inestable que se recolecta en un tambor alimentador para posteriormente ser precalentado en intercambiadores antes de ser inyectado. Por el fondo del tambor alimentador se descarga el agua sulfhídrica hacia la planta de tratamiento de residuales luego de ser enfriada y por el tope los gases son enviados al cabezal de gas combustible.

Por el tope de la Torre sale la fracción pie 70 °C inestable hacia enfriadores de aire, luego a un enfriador por agua y posteriormente pasa al tambor de reflujo del tope de la Torre T-104 para ser retornado al tope con una relación de reflujo.

El exceso Pie 70 °C es bombeado a un enfriador por agua. Posteriormente, va a la sección 400.

Por el fondo, de la Torre T-104 la fracción 70-120 °C estable es recirculada a través de un horno para mantener la temperatura en la torre.

La otra salida de fracción 70-120 °C estable por el fondo de la torre va a un intercambiador donde precalienta el inyector y luego es enfriada por aire y agua y se dirige hacia el nudo de mezcla.

### **Nudo de Mezcla**

El nudo de mezcla es donde se forman las fracciones resultantes de la sección 100. Estas son:

1. **Fracción 70-180 °C**, se forma mezclando el corte 70-120°C y corte 120-180°C. A esta fracción se le denomina **Nafta** de Inyector que va a la sección 200 o al Patio de tanque (MCP).
2. **Fracción 120-230 °C**, se forma mezclando el corte 120-180°C y corte 180-230°C. A esta fracción se le denomina **Turbo combustible** que va al Patio de tanque (MCP). Constituyendo el inyector a la planta *Merox*.
3. **Fracción 120-270 °C**, se forma mezclando el corte 120-180°C, corte 180-230°C y corte 230-270°C. A esta fracción se le denomina *Kerosene*, que va a al Patio de tanque (MCP).
4. **Fracción 180-350 °C**, se forma mezclando el corte 180-230°C, corte 230-270°C y corte 270-350°C. A esta fracción se le denomina **Diesel** que va al Patio de tanque (MCP), constituyendo el inyector a la sección 300-1 (Planta Hidrofinadora de Diesel). (*Tivenca, 2007*)

#### **2.2.1 Datos técnicos del equipamiento instalado en la sección de destilación atmosférica.**

El equipamiento instalado en la unidad de destilación atmosférica, así como las variables o parámetros operacionales de cada equipo que intervienen en el proceso como lo muestra el anexo 2 y la Tabla 2.1. La metalurgia de los equipos y su forma constructiva está acorde con las transformaciones físicas, químicas y químicas-físicas que en estos tienen lugar.

**Tabla 2.1 Bloque de torres sección 100**

<b>Torres</b>	<b>Denominación</b>
<b>T-101</b>	Torre desgasolinadora.
<b>T-102</b>	Torre de destilación atmosférica.

<b>T-103/1</b>	Torre despojadora de la Fr.120-180°C.		
<b>T-103/2</b>	Torre despojadora de la Fr.180-230°C.		
<b>T-103/3</b>	Torre despojadora de la Fr.230-270°C.		
<b>T-104</b>	Torre de estabilización de nafta.		
<b>Parámetros operacionales</b>	<b>T-101</b>	<b>T-102</b>	<b>T-104</b>
<b>Tope (T°C)</b>	140	109-113	85-90
<b>Fondo (T°C)</b>	250-255	330-340	175-180
<b>Tope (P atm)</b>	3,0	0,75	6
<b>Fondo (P atm)</b>	3,2	1-1,2	

**Tabla 2.2 Bloque de hornos sección 100.**

Código	Destino	Temp. de entrada °C		Temp de. Salida °C	
		Radiac.	Convec.	Radiac.	Convec.
F-01-101 (T-101)	Pre destilación	275	263	365	275
F-01-101 (T-102)	Destilación	275	263	365	275
F-01-101 (T-104)	Estabilización.	275	173	200	275

### 2.3 Características del crudo Leona 24 según Assay

	CRUDO	LPG	LN	MN	HN	LK	HK	GO	AR	TUR+KER+DIE	KER+DIE
Cut Name	CRUDO	LPG	LN	MN	HN	LK	HK	GO	AR	TUR+KER+DIE	KER+DIE
Initial Cut Point [C]	-89	-89	0	70	120	180	240	300	370	180	230
Final Cut Point [C]	999	0	70	120	180	240	300	370	999	350	350
Assay Source	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil	Oil
Assay	Leona 24	Leona 24	Leona 24	URALS 2018	Leona 24	Leona 24					
Initial cut point [C]	-89		0	70	120	180	240	300	370	180	230
Final cut point [C]	850		70	120	180	240	300	370	850	350	350
Watson characterisation factor	11.56		12.46	12.16	11.68	11.63	11.57	11.62	11.7	11.6	11.59
Percent weight yield [wt %]	100		3.3539	5.4127	10.621	13.017	12.796	13.9075	39.099	37.0584	27.7053
Percent volume yield [vol %]	100		4.2864	6.5262	11.6151	13.4993	12.737	13.4662	36.144	37.1535	27.4028
Density_15.5556 C [kg/m3]	855.4		669.3	717.3	782.2	824.9	859.4	883.5	925.4	853.2	864.9
API Gravity (Dry)	33.58		79.48	65.37	49.03	39.7	32.83	28.34	21.1	34	31.78

Assay	Leona 24	Leona 24	Leona 24	URALS 2018	Leona 24						
Distillation TBP_0 vol % [C]	29.44		22.03	69.95	120.8	183.5	240.2	301.8	371.2	183.5	226.3
Distillation TBP_10 vol % [C]	109.1		32.86	75.87	125.1	189.4	256	307.1	379.6	210	239
Distillation TBP_20 vol % [C]	162		37.29	81.55	130.6	204.8	261.4	312	389.3	223.4	257.9
Distillation TBP_30 vol % [C]	219		40.16	86.98	137.3	213.8	266.3	316.2	403.2	233.3	268.3
Distillation TBP_50 vol % [C]	295.5		50.26	97.14	153.3	221.6	273.3	322.9	429.7	270	283.7
Distillation TBP_90 vol % [C]	463.9		66.23	115.6	174.5	236.5	290.8	361.9	495.4	324.2	327.8
Distillation TBP_100 vol % [C]	520.9		70.11	120.1	179.4	240.3	297.3	371.5	525	345	345
Distillation ASTM D86_0 vol % [C]	67.82		41.16	87.34	138.6	200.4	253.7	305	378.6	214.8	248.2
Distillation ASTM D86_5 vol % [C]	98.78		44.11	88.78	139.6	201	257.7	306.3	380.5	219.9	251.7
Distillation ASTM D86_10 vol % [C]	124		46.44	90.23	140.7	203.3	260.4	307.6	382.7	228.4	254.4
Distillation ASTM D86_20 vol % [C]	169.2		48.7	93.11	143.2	211.2	263.1	310	387.6	235.3	264.9
Distillation ASTM D86_30 vol % [C]	221.2		50.18	95.93	146.2	216.3	265.7	312.2	395.1	240.7	270.9
Distillation ASTM D86_40 vol % [C]	258.7		52.95	98.57	150.5	218.4	267.9	314.2	404.5	256.6	274.9
Distillation ASTM D86_50 vol % [C]	290.6		55.43	101.2	155.3	220.8	269.8	316.2	412.1	266.7	279.6
Distillation ASTM D86_60 vol % [C]	324.2		57.88	103.9	159.1	222.8	271.6	318.8	421.5	273.5	289.8
Distillation ASTM D86_70 vol % [C]	375.2		60.27	106.7	162.2	225	273.7	322	434.3	285.7	300.9
Distillation ASTM D86_80 vol % [C]	411.7		62.63	109.7	165.5	227.3	276.6	331	447.9	299.6	305.5
Distillation ASTM D86_90 vol % [C]	449.5		65.3	112.8	168.8	230	281	345.3	464.1	307.4	311.4
Distillation ASTM D86_95 vol % [C]	470.3		66.82	114.4	170.5	231.5	283.4	348.5	474.9	313.5	314.2
Distillation ASTM D86_100 vol % [C]	497.3		68.53	116.1	172.3	233.2	285.8	352.9	491.1	325.9	326.3
Distillation ASTM D1160_0 vol % [C]	54.63		30.76	76.83	128.1	192.3	251.4	307.3	384.4	206.6	240.8
Distillation ASTM D1160_5 vol % [C]	86.2		33.68	77.97	128.9	192.8	255.1	308.4	386	211.3	243.8
Distillation ASTM D1160_10 vol % [C]	113.7		35.9	79.63	130.2	195.1	259	309.9	388.4	219.7	246.8
Distillation ASTM D1160_20 vol % [C]	164.3		39.45	83.94	134.1	207	263.3	313.6	395.3	230.2	261.8
Distillation ASTM D1160_30 vol % [C]	222.5		41.93	88.77	140.2	215.2	267.5	317.3	407.8	238.8	271.1
Distillation ASTM D1160_40 vol % [C]	263.7		46.63	93.35	147.4	218.3	270.6	320.2	421.5	259.3	277.3
Distillation ASTM D1160_50 vol % [C]	295.5		50.26	97.14	153.3	221.6	273.3	322.9	429.7	270	283.7
Distillation ASTM D1160_60 vol % [C]	331.8		54.65	101.9	159.8	225	276.6	327.5	443	279.8	298.2
Distillation ASTM D1160_70 vol % [C]	386.3		58.64	106.6	164.9	228.9	280.2	332.8	459.9	296.7	313
Distillation ASTM D1160_80 vol % [C]	423.8		62.45	111.1	169.8	232.7	284.7	344.8	476.6	314.8	319.6
Distillation ASTM D1160_90 vol % [C]	463.9		66.23	115.6	174.5	236.5	290.8	361.9	495.4	324.2	327.8
Distillation ASTM D1160_95 vol % [C]	487.4		68.15	117.9	176.9	238.4	294.1	365.9	507.4	331.3	331.3
Distillation ASTM D1160_100 vol % [C]	520.9		70.11	120.1	179.4	240.3	297.3	371.5	525	345	345

Viscosity (Kinematic)_37.78 C [cSt]	4.102	0.2825	0.6856	0.7944	1.527	3.318	8.05	70.02	2.985	4.077
Viscosity (Kinematic)_50 C [cSt]	3.238	0.2725	0.5951	0.7518	1.307	2.523	5.636	42.74	2.339	3.048
Viscosity (Kinematic)_60 C [cSt]	2.728	0.2649	0.5347	0.7203	1.163	2.076	4.381	30.05	1.963	2.478
Viscosity (Kinematic)_100 C [cSt]	1.586	0.2401	0.3715	0.6175	0.7864	1.134	2.051	10.28	1.13	1.314
Viscosity (Kinematic)_150 C [cSt]	0.9811	0.2172	0.2645	0.5253	0.5384	0.6653	1.103	4.313	0.6877	0.759
Viscosity (Kinematic)_212 C [cSt]	0.6329	0.1971	0.1984	0.4451	0.3756	0.4097	0.6452	2.151	0.4356	0.4624
Viscosity (Kinematic)_350 C [cSt]	0.3283	0.1701	0.1438	0.3376	0.2235	0.2116	0.2993	0.8787	0.229	0.2315
Viscosity (Dynamic)_60 C [cP]	2.244	0.1637	0.3612	0.5377	0.9222	1.721	3.741	26.95	1.614	2.068
Mercaptan sulfur content [wt %]	6.8477	0	0.0084	11.4345	9.7627	15.742	11.2851	1.7968	12.5499	13.419
Sulfur content [wt %]	0.9349	0.0008	0.0195	0.0317	0.1718	0.7265	1.164	1.6728	0.6555	0.8259
Pour point [C]	14.56		-122.2	-100.8	-67.61	-41.23	-5.426	33.37	-31.82	-25.43
Cloud point [C]	14.52	-127.7	-113	-80.78	-47.61	-24.87	-5.095	34.41	-24.82	-19.45
Flash point ASTM/PMCC [C]	-17.36	-47.61	-12.66	26.66	74.07	116.4	154.9	211.8	86.4	111.9
Flash point TBP/PMCC [C]	-16.61	-39.51	-10.18	25.09	71.26	101.3	127.6	171.5	82.16	100.7
Reid vapour pressure [bar]	6.50E-02	0.6728	0.1351	1.31E-02	0	0	0	0	0	0
Acidity [mg KOH/g]	0.235	0	5.43E-05	9.54E-04	9.11E-03	#####	0.1162	0.5501	3.23E-02	4.04E-02
Asphaltenes content [wt %]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Research octane number_0 kgPb/m3	48.49	74.95	54.47	49.33	46.61	45.74	45.65	45.65	46.03	45.77
Motor octane number_0 kgPb/m3			53.78							
Paraffins content by volume [vol %]	55.5146	77.136	68.5599	46.8506	56.2526	55.108	57.4582	54.851	56.1017	56.2836
Paraffins content by weight [wt %]	50.3544	74.169	65.7805	43.4323	51.3983	49.39	51.2687	47.847	50.5418	50.4132
Iso paraffins content by weight [wt %]		32.4312	34.9174							
Iso paraffins content by volume [vol %]		33.7651	36.3425							
Olefins content by weight [wt %]										
Olefins content by volume [vol %]										
Naphthenes content by weight [wt %]	13.0432	24.2158	30.1216	30.4311	22.4329	15.704	9.078	0.603	16.3773	14.0353
Naphthenes content by volume [vol %]	12.6201	21.0447	26.9052	28.2977	20.7497	14.505	8.301	0.5549	15.2109	12.9739
Aromatics content by volume [vol %]	31.8654	1.8193	4.5349	24.8517	22.9978	30.387	34.2408	44.594	28.6874	30.7425
N+2A by weight [wt %]	88.986	28.6021	40.6918	87.9203	75.5189	85.927	88.193	103.85	82.9245	85.2003
N+2A by volume [vol %]	76.3508	24.6834	35.975	78.0011	66.7452	75.279	76.7826	89.743	72.5856	74.4589
Freeze point [C]		-115.2	-103.7	-66.58	-33.02	-5.53	15.15		-6.913	0.3364

### 2.3.1 Metodología para Simulación de Procesos Industriales mediante el uso del simulador PRO/II

PRO/II es un programa de simulación de procesos que puede ser usado para resolver un amplio rango de problemas industriales típicos con un tratamiento riguroso en el balance de masa y balance de energía.

Ofrece el método de solución aplicable más comprensiva y fácil de usar y es el estándar industrial para refinerías y procesos de gas, incluyendo procesos químicos. Es usado desde la separación de petróleo y gas hasta procesos como la destilación reactiva.

PRO/II es una herramienta para el estudio y la aplicación de la ingeniería, tanto en el diseño de equipos nuevos como en la simulación de los ya existentes. Dentro de las unidades disponibles por el programa están incluidas:

- Tanques de flash
  - Separador sólido
  - Ciclón
  - Cristalizador
  - Disolvedor
  - Reactor (lotes, PFR, CSTR)
  - Separador de membrana
  - Entre otros
- 
- Columnas (destilación, extracción, absorción)
  - Mezcladores
  - Separadores de corrientes
  - Intercambiadores de calor
  - Compresores
  - Expansores
  - Bombas
  - Válvulas

### **Creación de un nuevo caso**

Cuando se abre el PRO/II, esta muestra una ventana de bienvenida en la que le indica el significado del código de colores que maneja el software cuando un campo requiere que se le suministren datos de entrada éste estará bordeado de color **rojo**, una vez ingrese el valor el color cambiará a **azul**. Aquellos campos en que el programa genera los valores por defecto estarán bordeados de color **verde** (si no está de acuerdo con ellos, los puede modificar).

## 1-Código de colores

Permite notificar sobre el estatus de los resultados y suministro de datos. Cada color significa lo siguiente:

COLOR	SIGNIFICADO
Rojo	Acciones o datos requeridos del usuario
Verde	Datos opcionales o predeterminados por el sistema
Azul	Datos suministrados al sistema
Amarillo	Datos cuestionables. Los datos suministrados están fuera del rango normal
Gris	Campo de datos no disponible
Negro	El suministro de datos es opcional

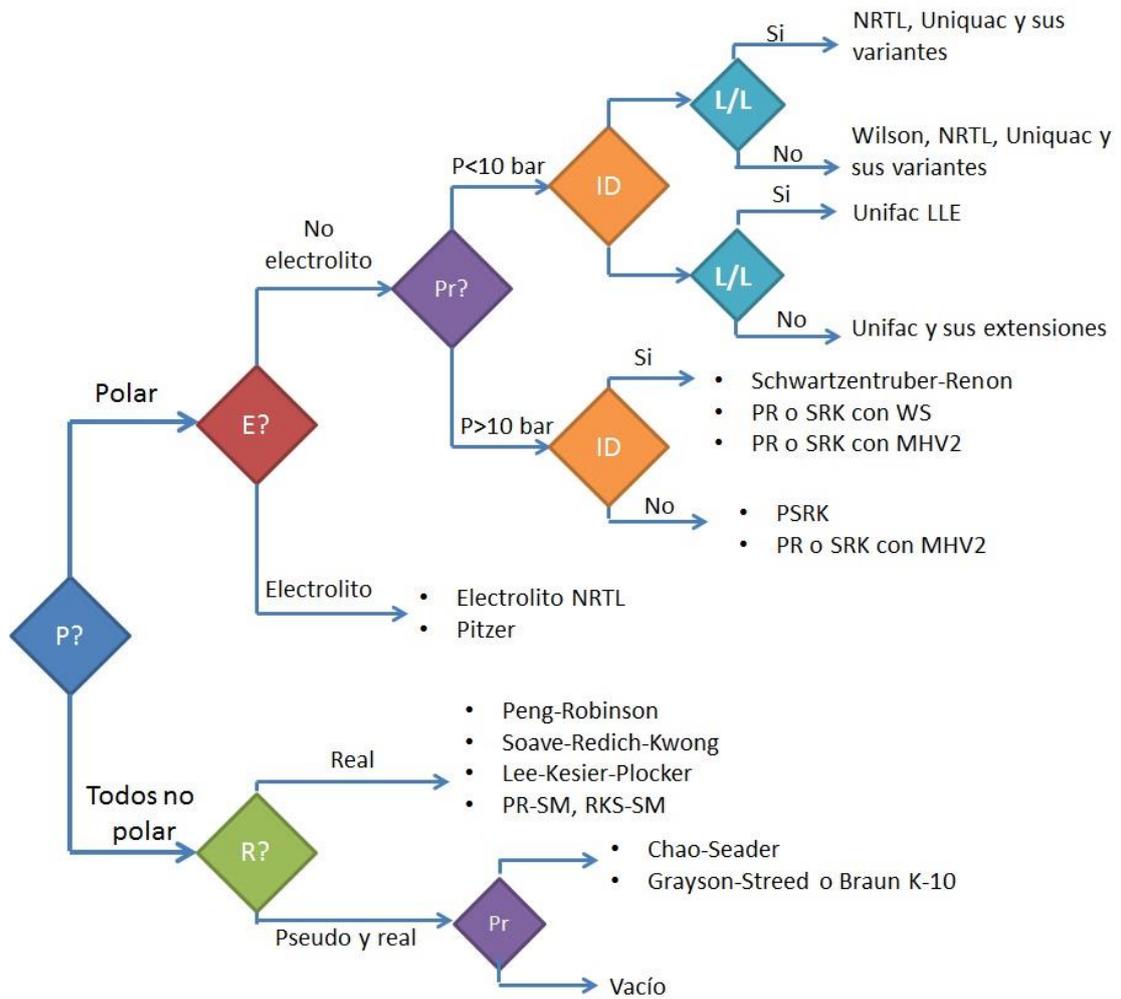
## 2-Definir paquetes de fluidos y propiedades

Los modelos de predicción de propiedades pueden ser clasificados en:



Modelos de Ecuaciones de Estados	Modelos de Coeficientes de Actividad
Limitados para representar líquidos no ideales.	Pueden representar líquidos no ideales.
Requiere pocos parámetros binarios.	Requiere varios parámetros binarios.
Los parámetros pueden ser extrapolados con la temperatura.	Los parámetros dependen fuertemente de la temperatura.
Consistentes en la región crítica.	Inconsistentes en la región crítica.

**El modelo termodinámico correcto se emplea el siguiente diagrama de flujo:**



**Donde:**



La selección del modelo termodinámico en PRO/II se realiza accediendo en el menú *Input/ Thermodynamic Data*. Esta opción permite definir los modelos termodinámicos que aplican en las diferentes secciones del diagrama de flujo.

Primero se selecciona en la sección *Category* el sistema más apropiado según las propiedades de interés a calcular, por ejemplo al seleccionar *Most Commonly Used* en la ventana *Primary Method* se despliegan todos los modelos termodinámicos comúnmente usados. Se marca la ecuación, por ejemplo Soave-Redlich Kwong haciendo clic sobre ella y luego se presiona el botón *Add* de tal forma que pueda colocarse en la sección *Defined System*. **(Anexo1)**

Se pueden seleccionar varias ecuaciones termodinámicas, en el caso que desee utilizar distintas ecuaciones para un equipo u otro en la simulación.

La selección del modelo termodinámico requiere de un especial cuidado ya que estos poseen restricciones muy marcadas acerca de su uso en sistemas particulares.

#### **4. Definir los componentes del sistema**

La selección de componentes se realiza accediendo en el menú *Input/Component Selection*. Esta opción permite definir los componentes que se realizarán en la simulación a través de la ventana: **(Anexo2)**

Existen seis tipos de componentes:

1. Componentes de librería
2. Componentes de petróleo
3. Componentes definidos por el usuario
4. Componentes sólidos
5. Componentes poliméricos
6. Componentes iónicos

Para seleccionar los componentes se accede a través del botón *Select from List* el cual despliega la ventana **(Anexo3)**

El programa posee una extensa base de datos que permite seleccionar los componentes de interés en la simulación. Para ello se señala el componente en la lista y se presiona el

botón *Add Components* para que aparezca en la lista de componentes con que trabajará el simulador. En nuestro caso estaremos seleccionando el componente número 2 que es el del petróleo.

Si desea borrar algún componente, selecciónelo y presione el botón *Delete*.

Presione en botón *OK* para regresar a la ventana principal.

### **Simulación de componentes hipotéticos**

En la mayoría de las cromatografías realizadas se trunca la composición de una muestra, es decir, las fracciones de los componentes pesados del tipo alcanos suelen agruparse. Por ejemplo  $C_{5+}$  o  $C_{6+}$ , entre otros. Este tipo de componentes no puede considerarse como pentano o hexano puro, ya que realmente esta fracción está conformada por cualquier tipo de componentes que sean menos volátiles o más pesados que el componente tomado como referencia.

Para simularlos correctamente se debe acceder a la sección de componentes, disponer de algunos datos de la fracción o conjunto de componentes agrupados y seleccionar el botón *Petroleum*.

Debe definir dos de las tres propiedades disponibles para cada componente. También puede colocar el nombre de su preferencia y luego presionar *OK*. Puede agregar la cantidad de componentes hipotéticos que requiera en el proceso a simular. (**Anexo 4**)

### **Caracterización de crudos mediante ensayos de destilación**

Se puede seleccionar el modelo termodinámico y definir pseudo-componentes desde una corriente. Para ello se debe seleccionar la opción *Petroleum Assay* que permite caracterizar crudos. Una muestra de petróleo no se puede caracterizar de manera sencilla mediante un análisis composicional, por lo cual es necesario disponer de ensayos de destilación y una propiedad intensiva como la gravedad API. (**Anexo 5**)

Debe introducir el flujo de la corriente de crudo y luego proceda a definir el *Assay* (**Anexo 6**)

Debe seleccionar el tipo de ensayo de destilación y la propiedad intensiva que introducirá en el simulador para caracterizar el crudo. PRO/II estimará unos pseudo-componentes partiendo del punto normal de ebullición para estimar las propiedades del petróleo simulado. (Anexo7)

## 5. Definición del diagrama de flujo de proceso

Para empezar a desarrollar el diagrama de flujo de proceso se debe arrastrar la unidad o las unidades requeridas que se encuentran en la paleta PFD ubicada en el borde derecho de la pantalla. Conecte las unidades haciendo clic en el recuadro *Streams* que se encuentra ubicado en la parte superior de la paleta PFD, ubíquese en las entradas de la unidad hacia la próxima entrada de la unidad que desea conectar. (Anexo 8)

## 6. Paleta PFD

La paleta PFD es la herramienta esencial en la creación del diagrama de flujo de procesos. En ella se encuentran los equipos para las distintas operaciones unitarias, procesos unitarios, funciones de control y otras aplicaciones del software PRO/II. A continuación se definen algunas de las opciones disponibles en la paleta: (Anexo 9)

## 7. Definición de sistemas de unidades

En la barra principal del menú, haga clic en *Input/ Units of measure*. Se visualizará la siguiente ventana en donde aparece cada una de las propiedades para los sistemas trabajados en el PRO/II y al frente de ellas un recuadro con una pestaña desplegable en la que se muestran las opciones de la medida. (Anexo 10)

Por defecto todas las propiedades se encuentran en unidades inglesas. Pero pueden cambiarse de sistema, ya sea al sistema métrico o al sistema internacional (SI). Para realizar el cambio de sistema de unidades se oprime *Initialize from UOM Library*. Al realizar esta opción se despliega la siguiente ventana y en *Initialize from* escoja el sistema de su preferencia. (SimSci-Esscor® PRO/II™ .8.1 Getting Started Guide) (Anexo 11)

Entonces una vez simulado el proceso se evalúan la torre y los equipos a partir de los resultados obtenidos mediante la simulación.

**Conclusiones parciales.**

1. El proceso de destilación atmosférica de la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos” se efectúa en dos etapas fundamentales, una de desalación eléctrica y la otra de destilación atmosférica.
2. El simulador PRO/II es la herramienta a utilizar para evaluar el crudo.
3. La evaluación de la torre y los equipos es a partir de los resultados de la simulación.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Resultados de la validación del modelo de simulación

Para llevar a cabo la validación del modelo de simulación de la sección de destilación atmosférica se comparan los valores de los parámetros de operación definidos para cada columna tomados del proceso real y los obtenidos por simulación como se muestra en las tablas 3.1, 3.2, 3.3.

**Tabla 3.1.** Comparación de los parámetros de la torre T-101 en el proceso real y simulado

Parámetros	U/M	T-101	T-101 simulada	% Desviación
Temperatura tope	°C	141,3	142,1	0,563
Temperatura fondo	°C	244,2	245,4	0,490
Presión del tope	kgf/cm <sup>2</sup>	4,14	4,25	2,588
Temperatura alimentación	°C	204,1	206,4	1,114

**Fuente.** Propia elaboración.

**Tabla 3.2.** Comparación de los parámetros de la torre T-102 en el proceso real y simulado

Parámetros	U/M	T-102	T-102 simulada	% Desviación
Temperatura tope	°C	106,5	108,4	1,753
Temperatura fondo	°C	329,5	331,6	0,633
Temperatura plato 12-14	°C	326,8	327,2	0,122
Temperatura plato 22-24	°C	271,9	274,5	0,947
Temperatura plato 34-36	°C	208,7	212,3	1,700
Temperatura plato 45-46	°C	152,7	155,1	1,547
Presión del tope	kgf/cm <sup>2</sup>	0,8	0,8	0,000
Temperatura alimentación	°C	349,7	350	0,086

**Fuente.** Propia elaboración.

**Tabla 3.2.** Comparación de los parámetros de la torre T-104 en el proceso real y simulado

<b>Parámetros</b>	<b>U/M</b>	<b>T-104</b>	<b>T-104 simulada</b>	<b>% Desviación</b>
Temperatura tope	°C	87,8	89,7	2,118
Temperatura fondo	°C	182,0	182,3	0,165
Presión del tope	kgf/cm <sup>2</sup>	5,9	6,0	1,667
Temperatura alimentación	°C	139,0	142,6	2,525

**Fuente.** Propia elaboración.

En la comparación realizada entre las condiciones reales y los valores obtenidos mediante la simulación en las unidades que integran la sección de destilación atmosférica, se observa en los parámetros comparados, que no existen desviaciones superiores a 10 %, por lo que se considera que el modelo de simulación obtenido reproduce el proceso real y es adecuado para realizar el estudio de la sección de destilación atmosférica de la Refinería Cienfuegos S.A.

### **3.3. Análisis de los resultados de la simulación**

En las tablas 3.4 aparecen los valores establecidos de los parámetros de operación fundamentales para la simulación en la sección de destilación atmosférica.

Se simula la corrida del Crudo Leona 24 para la proporción 90-10 % respectivamente obteniendo densidad superior a 0,82 g/cm<sup>3</sup> para un flujo de inyectado de 350 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 3.4.** Parámetros de operación fundamentales establecidos para la simulación

<b>Parámetros</b>	<b>Simulación</b>			
	<b>U/M</b>	<b>T-101</b>	<b>T-102</b>	<b>T-104</b>
Temperatura tope	°C	142,1	108,4	89,7
Temperatura fondo	°C	245,4	331,6	182,3
Temperatura plato 12-14	°C		327,2	
Temperatura plato 22-24	°C		274,5	
Temperatura plato 34-36	°C		212,3	

Temperatura plato 45-46	°C		155,1	
Presión del tope	kgf/cm <sup>2</sup>	4,25	0,8	6,0
Temperatura alimentación	°C	206,4	350	142,6

**Fuente.** Propia elaboración.

En la tabla 3.4 se observa que los parámetros están dentro del rango establecido comparados con la tabla 2.19 del capítulo 2. La densidad de entrada a la planta tiende a valores superiores a 0,82 g/cm<sup>3</sup> cuando se obtienen presiones y temperaturas en el tope de las torres en el entorno de sus parámetros operacionales de trabajo, se ajusta el inyector debido a los rendimientos de las fracciones ligeras presentes en los toques de las torres y la capacidad disponible de los enfriadores.

En las tablas 3.5 se muestran los valores de los parámetros de calidad obtenidos en la simulación de la sección de destilación atmosférica

**Tabla 3.5.** Parámetros de calidad para los productos obtenidos en la simulación

Parámetros	Simulación			
	Nafta	Turbo	Diésel	Fuel
Azufre (% wt)	0,0094	0,210	0,436	1,437
Azufre mercaptano (% wt)		<b>0,0029</b>		
Temperatura Flash (°C)		47	58	83
Punto de congelación (°C)		-54		
Punto de humo (mm)		26		
Índice de Cetano			51	
Viscosidad (cst a -20 °C)		4,527		
Viscosidad (cst a 40 °C)			3,846	
Viscosidad (cst a 50 °C)				394

**Fuente.** Propia elaboración.

En la tabla 3.5 se cumple en la mayoría de los parámetros de calidad para cada producto excepto el contenido de azufre mercaptano que limita la producción de Turbo combustible Jet A-1 mediante el esquema endulzamiento cáustico, entonces el lote se define procesarlo mediante el enlace al bloque de reacción del hidrofinao de diésel para luego continuar a su proceso de endulzamiento de Jet A-1.

### 3.4. Análisis técnico de los resultados de la simulación

Ya visto, que las columnas de destilación involucradas en el proceso de refinación primaria instalado en la Refinería Cienfuegos S.A. responden adecuadamente desde el punto de vista hidrodinámico y energético, centramos el análisis técnico el sistema de bombeo que garantiza el inyecto y los productos terminados; así como, las recirculaciones internas. En la tabla 3.6 se compara el flujo máximo de cada bomba con los flujos obtenidos a partir de la simulación analizada para un inyecto de 350 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 3.6.** Registro de flujo de las bombas involucradas en el proceso de destilación atmosférica

<b>Código</b>	<b>Función</b>	<b>Flujo máximo (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Flujo simulado (m<sup>3</sup>/h)</b>
P-101	Inyecto crudo a T-101	444	350
P-102	Inyecto crudo a T-102	465	326,27
P-103	Reflujo caliente T-101	145	131,14
P-105	Inyecto nafta a T-104	65	58,16
P-107	Fr.120-180 °C a nudo de mezcla	35	<b>38,32</b>
P-108	Fr.180-230 °C a nudo de mezcla	45	<b>46,18</b>
P-109	Fr.230-270 °C a nudo de mezcla	35	32,12
P-110	Fr.270-350 °C a nudo de mezcla	70	53,34
P-111	I reflujo circulante	120	113,56
P-112	II reflujo circulante	115	68,43
P-113	III reflujo circulante	70	63,48
P-114	Salida fondo T-102	250	182,16
P-115	Reflujo fondo T-104	185	135,75
P-121	Fr.70-120 °C a nudo de mezcla	50	<b>52,76</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.6 se aprecia que el flujo de fracción 120-180 °C es ligeramente superior, (3,32 m<sup>3</sup>/h), al máximo de la bomba P-107 que envía este producto al nudo de mezcla. El flujo de la fracción 180-230 °C es superior en pequeña medida (1,18 m<sup>3</sup>/h) al máximo de la bomba P-108 que despacha este producto al nudo de

mezcla. Con la bomba P-121 sucede lo mismo que con las bombas P-107 y P-108; su flujo se encuentra por encima del permitido (2,46 m<sup>3</sup>/h). Estos valores se encuentran dentro del 10 % de error asumido para el modelo de simulación, adicionalmente los sistemas de bombeo tienen un sobre diseño de 10 % por encima del flujo máximo, por lo que se asume que estas tres bombas pueden responder positivamente ante condiciones extremas de operación.

### 3.5. Análisis de resultados de los rendimientos obtenidos en la simulación

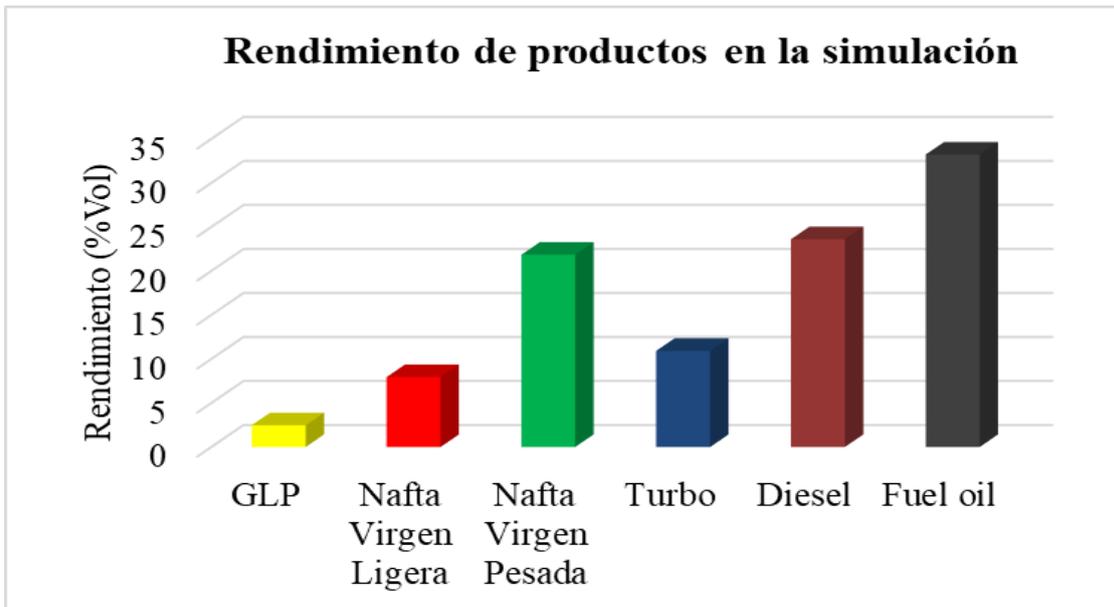
En la tabla 3.7 se muestran los resultados de rendimientos volumétricos obtenidos para el caso objeto de estudio.

**Tabla 3.7.** Rendimiento de productos obtenidos en la simulación

Productos	Rendimientos (% Vol)
GLP	2,47
Nafta Virgen Ligera	7,94
Nafta Virgen Pesada	21,85
Turbo	10,92
Diesel	23,61
Fuel oil	33,23

**Fuente.** Elaboración propia

En la figura 3.7 se muestra los rendimientos de los productos para la simulación de la variante 2, siendo el crudo Leona 24 en la proporción 90-10 % respectivamente. En los productos obtenidos, resalta los rendimientos de diésel y nafta pesada, representan el 23,61 % volumen y 21,85 % volumen respectivamente, siendo el acumulado de los productos claros obtenidos en la destilación el 66,80 % vol.



**Figura 3.7.** Representación gráfica del rendimiento volumétrico para la simulación.

**Fuente.** Propia Elaboración

Luego, se realiza el cálculo del margen de refino para la variante analizada. Los resultados obtenidos y los volúmenes de productos para la simulación es 1 584 274 bbl/mes de crudo.

### Conclusiones parciales

1. El modelo de simulación obtenido es capaz de reproducir el proceso de destilación atmosférica instalado en la refinería Camilo Cienfuegos con un error menor de 10 %.
2. Al variar los parámetros de operación de la planta de destilación atmosférica en el modelo de simulación, la respuesta que se obtiene es consecuente con una variación semejante en el proceso real.
3. La simulación responde adecuadamente desde el punto de vista hidrodinámico y energético, adicionalmente los sistemas de bombeo tienen un sobre diseño de 10 % por encima del flujo máximo, por lo que las bombas P-107, P-108 y P-121 pueden responder positivamente ante las condiciones de operación.

## **CONCLUSIONES**

1. Los fundamentos teóricos sobre destilación atmosférica y la simulación de procesos, manifestaron que los simuladores PRO-II y Petro Sim son los más utilizados en la industria petroquímica.
2. La simulación del crudo Leona 24 mostró que el software PRO-II es capaz de reproducir el proceso de destilación atmosférica con una desviación menor de 10 %.
3. La evaluación de la simulación en PRO-II para el crudo Leona 24, definió que es posible procesar el crudo especificado en la Unidad Destilación Atmosférica de la Refinería Cienfuegos S.A

## **RECOMENDACIONES**

1. Analizar la implementación de una unidad de destilación al vacío en la Refinería Cienfuegos S.A para extraer el máximo al barril de crudo.
2. Fortalecer la interpretación de los Assay y la simulación de procesos en la industria petroquímica a través de capacitaciones internacionales por expertos del sector, radicados en universidades especializadas.
3. Realizar la simulación mediante el Pro 2 de cada uno de los crudos posibles a procesar

## BIBLIOGRAFÍA

1. Adithan, M, (2007). *Process Planning and Cost Estimation*. New Delhi: New Age International Publishers.
2. Aspen Technology, (2014). *Aspen Technology Announces Financial Results for the First Quarter of Fiscal 2015*.
3. Both Exxon and Mobil, (ExxonMobil), (2000). Fractionating towers. *Exxon Design Practices*.
4. Centro Politécnico del Petróleo, (CPR). (2007). *Destilación*. politecnico@cpp.cupet.cu
5. Chang, R, (2009). *Química General*.
6. CHAUVEL, A FOURNIER, G y RAIMBAULT, C, (2003). *Manual of Process Economic Evaluation*. Continental.
7. Cortes, A., (2014). *Proceso de Refino*.
8. Dynamic Simulations of Autoregressive Relationships, (Dynsim), (2015). Programa de simulación de procesos completo y dinámico
9. Fleitas, Mallelyn, (2012). *Evaluación de alternativas para alcanzar la temperatura adecuada de alimentación a la unidad de vacío*.
10. GARCELL, LEONEL, R., Julio, (2010). *Hidrodinámica y separaciones mecánicas* Félix Varela.
11. Guías de Gerencia para Proyectos de Inversión Capital de Petróleos, (GGPIC),(1999). Las Guías de Gerencia de Proyectos de Inversión de Capital o GGPIC se han acogido. como práctica de uso obligatorio para todos los proyectos de inversión.
12. Han and Perozo, (2014). *Mejoras en la preparación de soda del sistema de lavado cáustico de la planta de olefinas I del complejo "Ana María Campos y Rafael Urdaneta*.
13. HUGO, M., (2000). *Simulación de Procesos en Ingeniería Química*.
14. Humphreys, Kenneth K, (2005). *Project and Cost Engineer's Handbook*.
15. Kern, Donald Q, (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*.
16. Kraus, Richard S, (2014). *Petróleo y gas natural*.
17. Lluch, J., (2008). *Tecnología y margen de refino*.
18. LOOMIS, A. W, W., C.R., (1984). *Cameron Hydraulic Data*. Ingersoll-Rand.
19. LUIS ALFREDO, R.C., (2002). *Metodología estándar para estimar los puntos de corte y rendimientos en las unidades de Destilación del circuito refinador venezolano*.

20. Maturell, Liusmar, (2015). *Selección de un esquema de tratamiento para disminuir la acidez de la nafta craqueada que se obtendrá en la Unidad de Craqueo Catalítico durante la Fase I del Proyecto Expansión de la Refinería de Cienfuegos.* (Trabajo de Diploma). Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
21. Murrugarra, Fidel, (2009). *Obtención de gasolina de alto octano.*
22. Pacheco, H. S, (2006). *Evaluación del software para la simulación de procesos químicos.*
23. Page, J. (1996). *Conceptual Cost Estimating Manual.*
24. PDVSA, (2009). *Manual de diseño de procesos. mdp\_04\_cf\_03*
25. PETER, M., (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.*
26. Quimi, R., (2014). *Estudio de factibilidad para la implementación de una unidad de Destilación al Vacío en el proceso de refinación de crudo de la refinería La Libertad.*
27. Tarquin, Anthony, B., Leland, (1999). *Ingeniería Económica.*
28. Technip, (2011). *Basic Process Design Requirements and Criteria.*
29. Technip, (2014). *Descripción del proceso.*
30. TPIT., (2014). *Determinación del estimado de costo.*
31. Varela, S., (2013). *Evaluación de alternativas de crudo a refinar en la unidad de Destilación Atmosférica.* (Tesis de Maestría). Universidad Martha Abreus de Las Villas.
32. VÉLEZ, J, H., C., (2002). *Uso del paquete de simulación HYSYS. Process. Manual del laboratorio diseño de procesos químicos.* UPB.

## ANEXOS

### Especificaciones de productos PRO-II Leona 24

GLP	U/M	Valor	Norma
RVP	ata	9.54	10 max

Fr-70-180	U/M	Valor	Norma
Densidad	g/cm3	0.705	0.73-0.75
PFE ASTM D86	°C	165	180 max
Azufre	ppm	452	500 max
Parafinas tot.	% vol	61.4	--
Naftenos	% vol	25.4	--
Aromaticos	% vol	15.7	--
RON	--	48.2	--
Ind. Reform	--	37.3	37.3 - 46.1

Reformab  
37.28

Jet A1	U/M	Valor	Norma
Densidad	g/cm3	0.811	0.775-0.840
Aromaticos	%Vol	21.1	26.5 max
Mecaptanos	ppm	81.9	30 max
Azufre	%wt.	0.270	0.3 max
Pto Humo	mm	24	19 min
Pto Cong.	°C	-47	-47 max
Pto Flash	°C	44	40 min
Viscosidad -20 °C	cSt	6.86	8 max
Acidez	mgKOH/g	0.2123	0.015 max.
PFE ASTM D86	°C	233	245 max

Diesel	U/M	Valor	Norma
Densidad	g/cm3	0.8566	0.815-0.865
Azufre	%wt.	1.03	0.8 max

90 % ASTM D86	°C	344	360 max
Acidez	mgKOH/g	0.21	0.5 max
Viscosidad 40 °C	cSt	3.9	1.6-5.3
Flash	°C	66.83	52 min
Ind Cetano		47.88	43 min

FO 400	U/M	Valor	Norma
Temperatura	°C	85	100 max
Densidad	g/cm3	0.9905	0.9959 máx
Azufre	% wt.	2.56	3.5 max
Viscosidad	cSt	19024	400 max
Flash	°C	166	62 min
CCR	% wt.	n/a	15 max
Asfaltenos	% wt.	0.0	8
Vanadio	ppm	284.1	150 max
Pour Point	ppm	< 0	16 max

### Indicadores de productos PRO-II Leona 24

INDICADORES	Producciones		%Vol
	m3/h	BPD	
<b>MATERIA PRIMA PROCESADA</b>			
Crudo	297	44909	100.00
<b>PRODUCCION OBTENIDA</b>			
GLP	0.4	64	0.14
Nafta Virgen Ligera	11.4	1718	3.83
Nafta Virgen Pesada	62.9	9499	21.15
Fracción Turbocombustible Jet A-1	29.9	4510	10.04
Fraccion Diesel	71.5	10794	24.03
Petróleo Combustible Pesado 650 cSt	112.3	16957	37.76

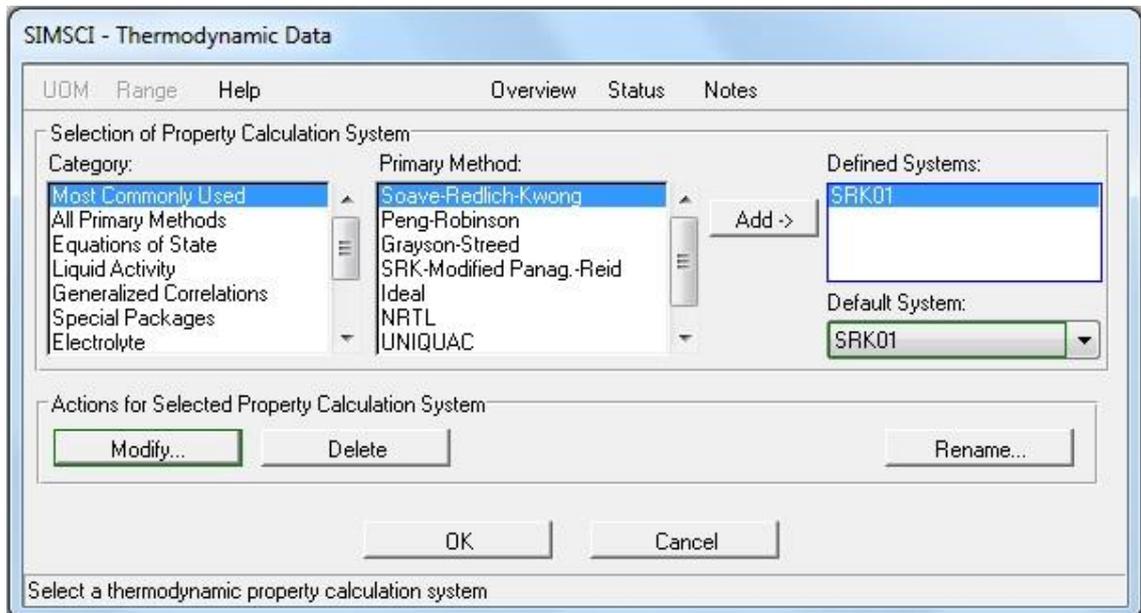
96.95

Margen Bruto de Refino

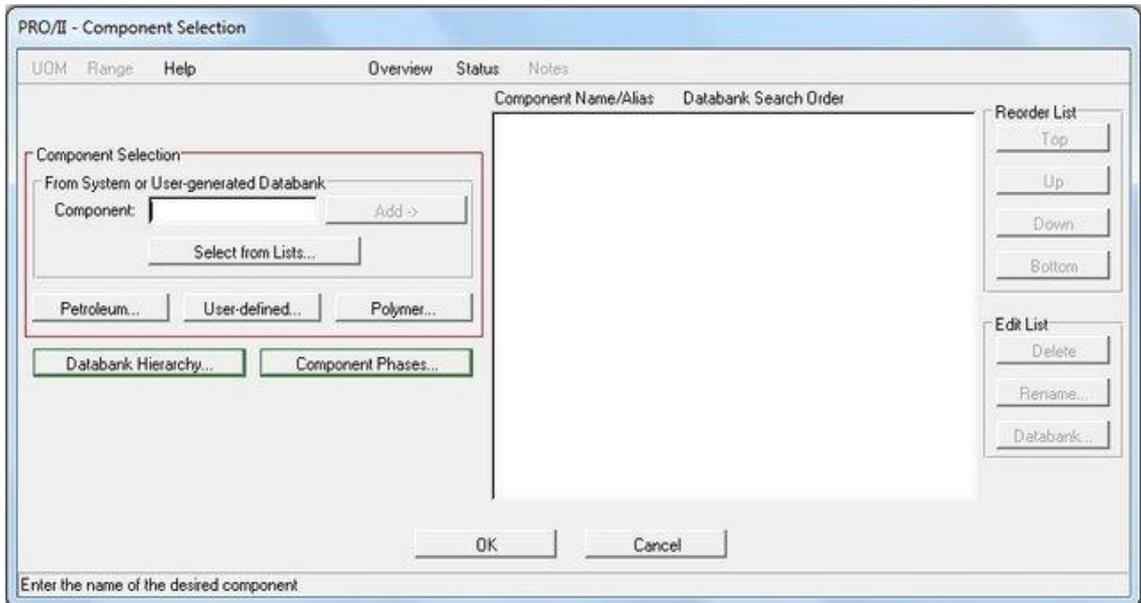
INDICADORES	Producciones		%Vol
	m3/h	BPD	
<b>MATERIA PRIMA PROCESADA</b>			
Crudo	297	44909	100.00

<b>PRODUCCION OBTENIDA</b>			
GLP	0.4	66	0.15
Nafta Virgen Ligera	11.7	1772	3.95
Nafta Virgen Pesada	64.9	9797	21.82
Fracción Turbocombustible Jet A-1	30.8	4652	10.36
Fraccion Diesel	73.7	11133	24.79
Petróleo Combustible Pesado 650 cSt	115.9	17489	38.94

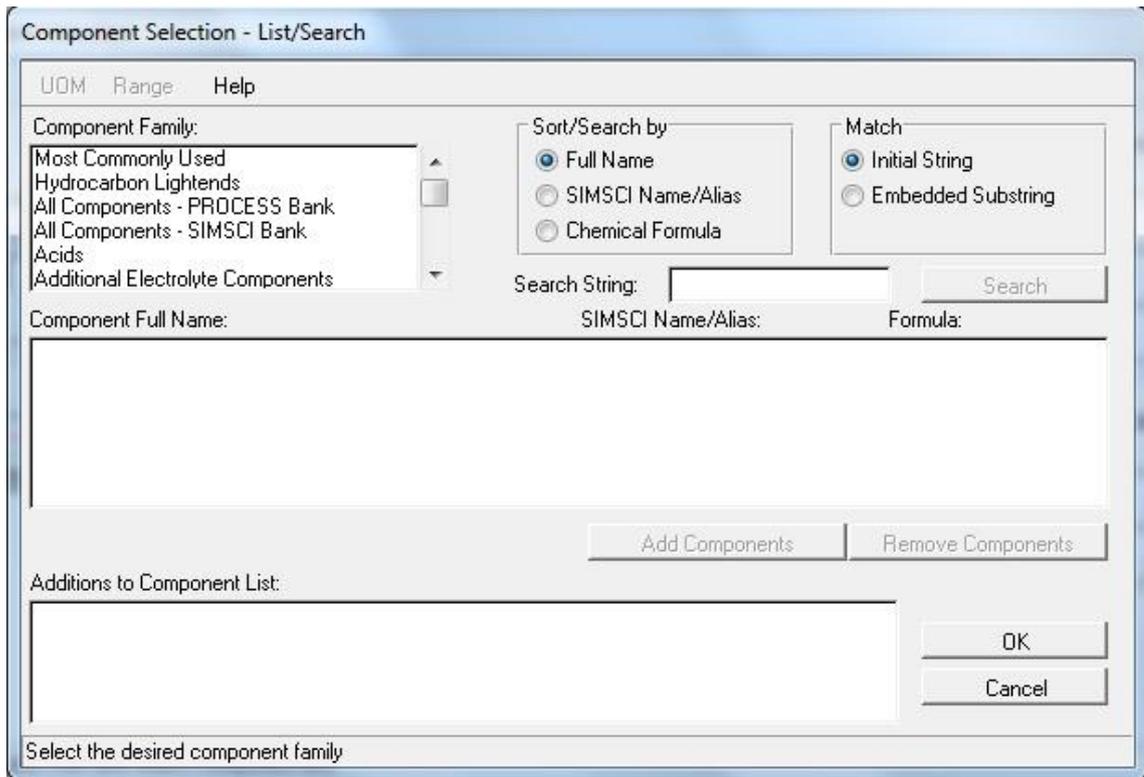
## Anexo 1



## Anexo 2



## Anexo 3



## Anexo 4

Component Selection - Petroleum Components

UOM: Range Help Tag

Copy	Normal Boiling Point	Standard Liquid Density	Molecular Weight	Name (Optional)
Paste	F	API		
Insert				
1				PETRO_1
2				PETRO_2
3				PETRO_3
4				PETRO_4
5				PETRO_5

OK Cancel

Exit the window after saving all data

**Anexo 5**

**PRO/II - Stream Data**

UOM Range Help Tag Overview Status Notes

Stream:  Description:

To Unit: (Product Stream)

Stream Type

- Composition Defined
- Petroleum Assay**
- Referenced to Stream
- Solids Only Stream

Thermal Condition

First Specification:

Second Specification:

Thermodynamic System:

Select a method to define the stream

## Anexo 6

**Stream Data - Flowrate and Assay**

UOM Range Help Tag

Specify fluid flowrate and assay for stream S1

Fluid Flowrate:  lb/hr  Total LV rate on an Adjusted Standard Basis

This stream's composition will be divided into pseudocomponents with boiling points based on the [default set of TBP cutpoints](#). This stream will be [included in](#) the assay blending when the properties of these pseudocomponents are generated.

Enter the fluid flowrate

## Anexo 7

**Stream Data - Assay Definition**

UOM Range Help Tag

Assay data for stream S1

Distillation

True Boiling Point

ASTM D86

ASTM D1160

ASTM D2887

D86 Basis

Liquid Volume

Weight

Pressure:  psia

Correct for Cracking  
(Recommended for API 63 and Edmister-Okamoto Interconversion only)

Gravity Data

API Gravity Average:

Specific Gravity

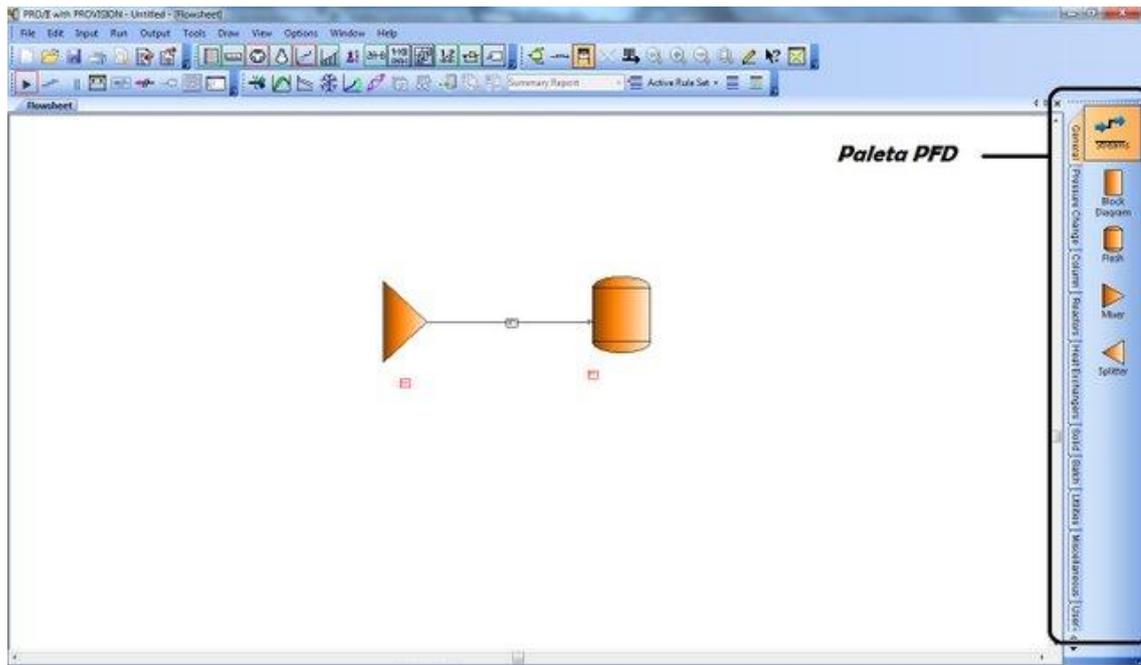
Watson K-Factor

Cut	Percent Distilled	Temperature F
Copy	1	
Paste	2	
Insert	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	

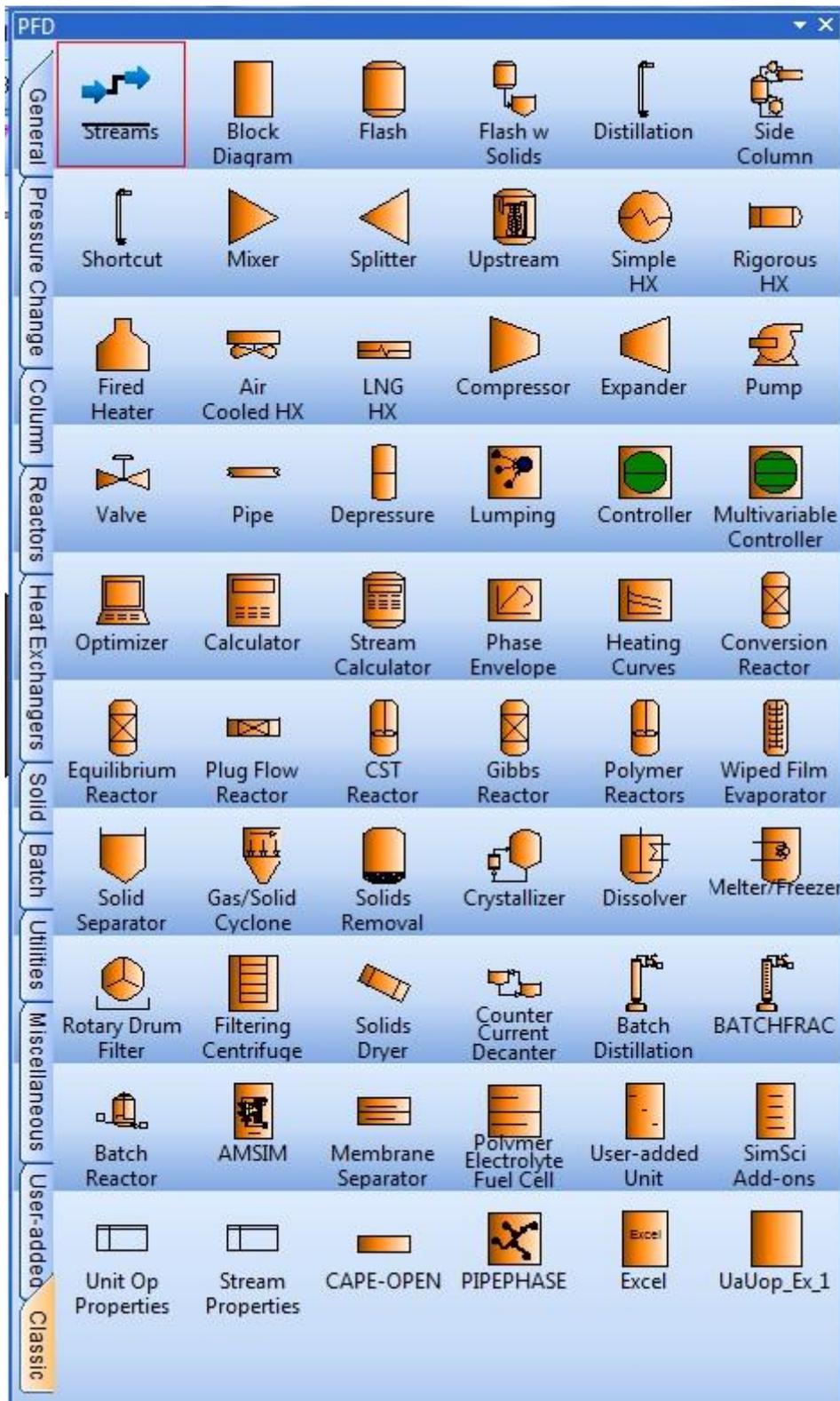
Additional Data

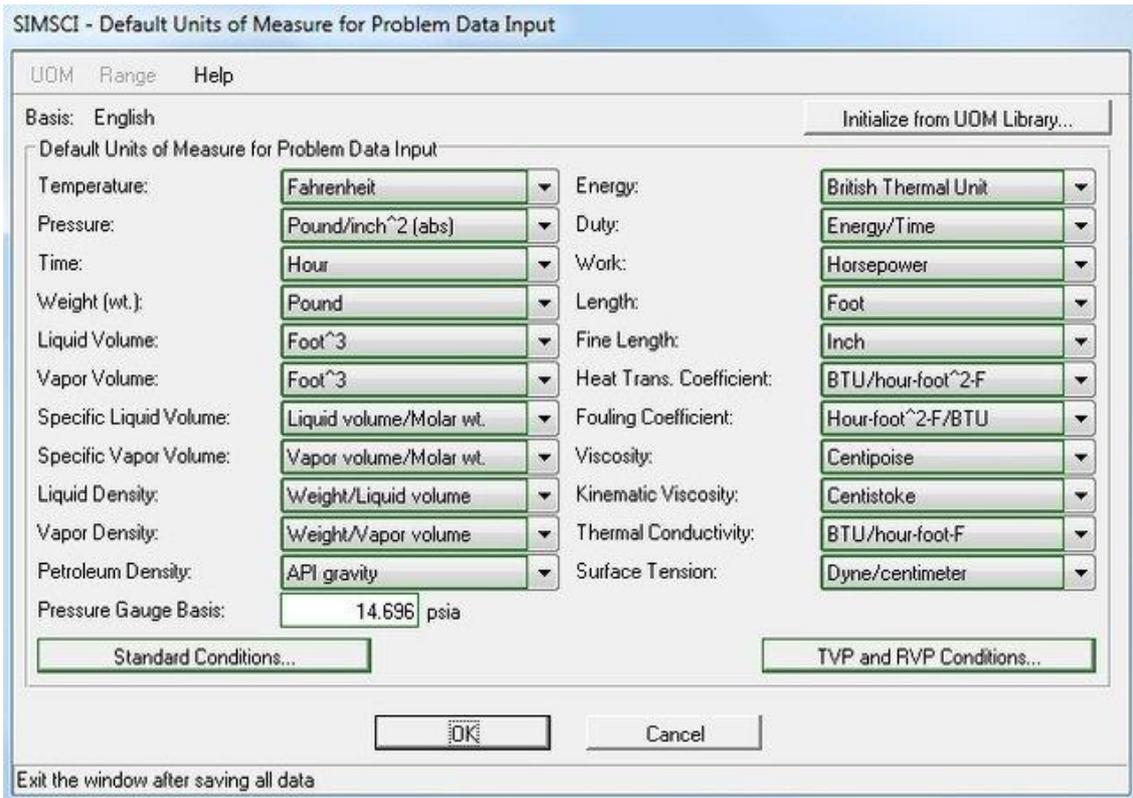
Select ASTM D86 distillation

## Anexo 8



**Anexo 9**





## Anexo 11

