

Reactores de la tecnología HDHPLUS® como componentes de simulación interoperables

HDHPLUS® technology reactors as interoperating simulation components

Pernalette, César*; Torres, Bradley; Moreno, Argenis.

PDVSA-Intevep, Urbanización Santa Rosa, Sector El Tambor, Los Teques,
Estado Miranda, Apto. Postal 76343, Venezuela.

*pernaletec@pdvsa.com

Resumen

HDHPLUS® es un proceso de hidroconversión desarrollado en PDVSA Intevep, que permite una alta conversión de residuos de vacío, generando un alto rendimiento volumétrico hacia productos de alta calidad como gasolinas y destilados medios. Los proyectos de ingeniería que incorporan la tecnología HDHPLUS® requieren la evaluación de la planta en simuladores de proceso comerciales que permiten realizar rápidamente la predicción del comportamiento del proceso, generando los datos necesarios para completar el diseño de los equipos en cada fase del proyecto. Esta simulación requiere inicialmente la predicción de los rendimientos de productos en los reactores mediante modelos propietarios, los cuales son incompatibles con los simuladores de procesos comerciales. Esta situación hace necesaria la manipulación de gran cantidad de datos para compatibilizar los resultados de los modelos propietarios con el simulador de proceso comercial, actividad que demanda una gran cantidad de horas hombre. Considerando la criticidad de la simulación de la planta dentro del plan de trabajo de un proyecto de ingeniería, se planteó la transformación de los modelos utilizados para predecir los rendimientos de los reactores de HDHPLUS® para hacerlos compatibles con los simuladores comerciales. En tal sentido se desarrollaron componentes de software que implementan dichos modelos, basándose en los estándares internacionales de desarrollo de aplicaciones de ingeniería de procesos asistida por computador "CAPE OPEN". Como resultado se obtuvo un archivo con extensión ".dll" por cada reactor de la tecnología, los cuales una vez registrados en el sistema operativo son reconocidos por cualquier plataforma de simulación que soporte el estándar CAPE OPEN. Este desarrollo además garantiza que la simulación de la planta se ejecute en un único ambiente de trabajo, disminuyendo así el consumo de tiempo en un proceso de trabajo crítico en los proyectos mayores de refinación de PDVSA.

Palabras clave: HDHPLUS®, interoperabilidad, CAPE-OPEN.

Abstract

HDHPLUS® is a hydroconversion process which was developed in PDVSA Intevep, and offers a high vacuum residue conversion, generating a high volumetric yield into high-quality products like gasoline and middle distillates. Engineering projects including HDHPLUS® technology require the plant evaluation using commercial process simulation tools that allow the fast prediction of the process behavior, generating required data for the completion of the equipment design in each stage of the project. This simulation initially requires the reactor products yield prediction by using proprietary mathematical model, which are incompatible with the commercial process simulators. This situation generates a high data handling to make the proprietary models results compatible with the process simulator, so a lot of man-hours are demanded. Considering the criticality of the plant simulation in the working schedule in an engineering project, the transformation of the models used for the prediction of the HDHPLUS® reactors yield was considered, in order that they could be compatible with commercial process simulators. In that sense, software components that implement such that models were developed, taking into consideration the "CAPE OPEN" international standards for the development of process engineering application. As a result, one file with ".dll" extension per each technology reactor were obtained, which once registered in the operative system are recognized by any simulation platform that is based on the CAPE OPEN standard. In addition, this development guarantee that the plant simulation is executed in a single working environment, so the time consumption in a critical working process for refining major projects of PDVSA is decreased.

Key words: HDHPLUS®, interoperability, CAPE-OPEN.

1 Introducción

La técnica de simulación de procesos es una estrategia ampliamente utilizada en actividades de evaluación, diseño y optimización de procesos industriales. Dada su alta flexibilidad para la configuración de los modelos de operaciones unitarias y esquemas de proceso, las aplicaciones de *software* CAPE (Computer aided process engineering) son herramientas que facilitan enormemente esta tarea. Estas aplicaciones generalmente poseen bibliotecas de operaciones unitarias comunes que permiten construir esquemas de proceso a partir de modelos de operaciones unitarias genéricas. Así mismo, para la incorporación de “modelos propios” en el esquema de procesos a simular, muchas de estas aplicaciones han desarrollado interfaces propietarias tanto para describir dicho modelo en el simulador, como para lograr la comunicación entre el simulador y alguna otra aplicación donde el modelo haya sido inicialmente implementado. Este enfoque posee fuertes desventajas que radican principalmente en la dependencia “modelo propio”-simulador, ya que una vez lograda la implementación del modelo, probar su desempeño en otros simuladores requiere de una duplicación del esfuerzo inicialmente invertido.

Desde el 2001, la organización CO-LaN ha promovido la creación de los estándares CAPE-OPEN, donde se definen un conjunto de reglas e interfaces libres de uso y sin propiedad que permiten crear componentes de software interoperables con distintas aplicaciones para simulación de procesos (CAPE) que soportan el estándar (Pons, 2005). En la actualidad la mayoría de los simuladores de proceso soportan el estándar. Existen diversos trabajos que muestran la factibilidad de implementar operaciones unitarias como componentes CAPE OPEN, de lo que resultan componentes de software que implementan modelos de procesos que pueden ser utilizados en diversas plataformas de simulación (Braunschweig y col., 2001) (COLaN Consortium, 2007) (Perez y col., 2005)(Van Baten y col., 2011)

En este trabajo se plantea la automatización de los cálculos empleados para estimar los rendimientos de los reactores de la tecnología HDHPLUS® y su transformación para hacerlos compatibles con los simuladores de proceso comerciales, minimizando así el tiempo requerido para esta actividad, y en general, para diferentes fases del proyecto. En tal sentido se propone el desarrollo de componentes de software que implementen la lógica de cálculo de los modelos de los reactores que comprenden la tecnología HDHPLUS® bajo los estándares CAPE-OPEN. Así mismo, se realiza de una descripción general de los estándares y los fundamentos teóricos que los soportan.

2 Motivación

La tecnología de refinación HDHPLUS® constituye

un proyecto prioritario en los planes a futuro de PDVSA. Constituye un proyecto macro que será implementado en muchas refinerías del país y con fuertes posibilidades de exportación. Un análisis mas detallado de la tecnología es realizado por (Rivas y col., 2009).

En los proyectos de ingeniería que incorporan la tecnología HDHPLUS® se requiere de la simulación de la planta para predecir los niveles de conversión utilizando diversas cargas, y así generar los datos necesarios para completar el diseño de los equipos en cada fase del proyecto. Dado que no existen en la actualidad plantas comerciales operativas, esta etapa de simulación cobra aun mayor importancia. La simulación de la planta de HDHPLUS® requiere inicialmente de la predicción de los rendimientos de los reactores utilizando modelos matemáticos propios de PDVSA Intevp, de donde se obtienen datos globales de productos, sin embargo, los simuladores de proceso comerciales donde se realiza la simulación de la planta no son compatibles con esta información. Esto requiere de una gran manipulación de los datos generados por los modelos para hacerlos compatibles con el simulador de procesos comercial, hecho que toma gran importancia al destacar que en cualquiera de las fases de la ingeniería es necesaria la evaluación de diversos casos de estudio, lo cual hace de la simulación de la planta una actividad que toma grandes cantidades de horas-hombre, y en muchos casos, retrasa el desarrollo de otras actividades que requieren de la información generada por las simulaciones.

Por otra parte, las actividades de ingeniería donde se considera la incorporación de HDHPLUS®, requieren de la interacción de dos grupos de trabajo: el grupo de ingeniería y el grupo de tecnología. Uno de los aportes más importantes del grupo de tecnología es la estimación de los rendimientos de los productos de los reactores. Esta información es utilizada posteriormente por el ingeniero de procesos para realizar la simulación de la planta, de donde se obtienen todos los datos necesarios para completar el resto de los documentos de ingeniería, ya sea en un nivel de ingeniería conceptual o básica.

La interacción de los profesionales de ambos grupos (tecnología e ingeniería), es un proceso de trabajo que se lleva a cabo tal como se muestra en la Fig. 1.

En las situaciones donde se debe evaluar diversos casos, este proceso de trabajo debe ser repetido una y otra vez, lo cual genera largos tiempos de espera para la obtención de los datos finales. En este sentido se plantea la optimización de este proceso a través de la implementación de la lógica de cálculo empleada por el grupo de tecnología para realizar las estimaciones de los rendimientos de los reactores, en componentes de software que pueda ser manejado directamente en los paquetes de simulación comercial utilizados por el ingeniero de procesos. De esta manera se minimiza el

proceso de trabajo ya que se reduce el número de actores, actividades y herramientas de trabajo tal como se muestra en la fig. 2.

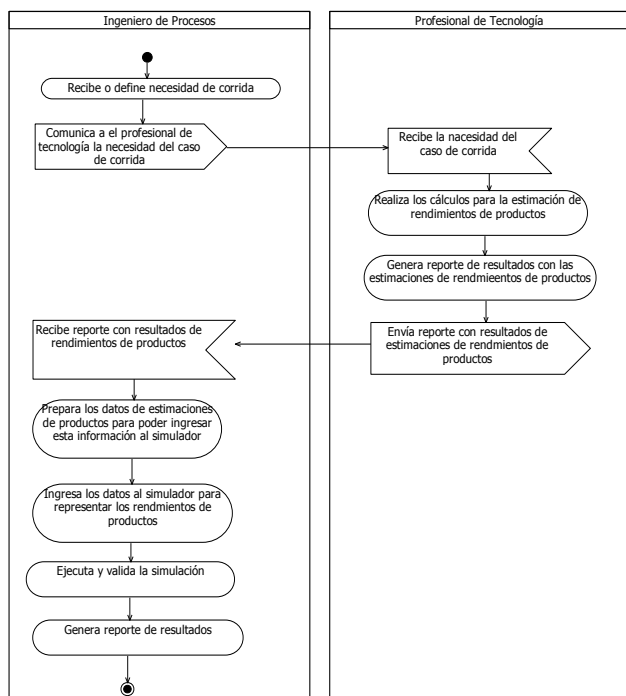


Fig.1 Proceso de trabajo antes de la innovación

3 Tecnología

La tecnología HDHPLUS® es una tecnología de refinación patentada por PDVSA-Intevep, que entra en la categoría de conversión profunda. Consiste en un proceso de conversión de residuos de vacío, es decir, de la materia prima o alimentación principal a la planta, la cual constituye la corriente de fondo de las destiladoras de vacío, de allí su nombre. Esta corriente se encuentra compuesta principalmente por los componentes pesados del petróleo, que por sus características de peso molecular y puntos de ebullición no pueden ser precursores directos de productos hidrocarburos de alta calidad, tales como gasolinas o destilados medios. Sin embargo, una manera de aprovechar estas corrientes es la de partir las moléculas de estos hidrocarburos pesados para convertirlas en moléculas más livianas, de menor peso molecular y con rangos de ebullición que permitan, tras posterior tratamiento, ser enviados a las mezclas de productos finales de alta calidad, aptos para el mercado nacional e internacional. La tecnología HDHPLUS® se basa en un rompimiento de las moléculas de hidrocarburos de la alimentación (residuo de vacío), el cual es conocido como craqueo.

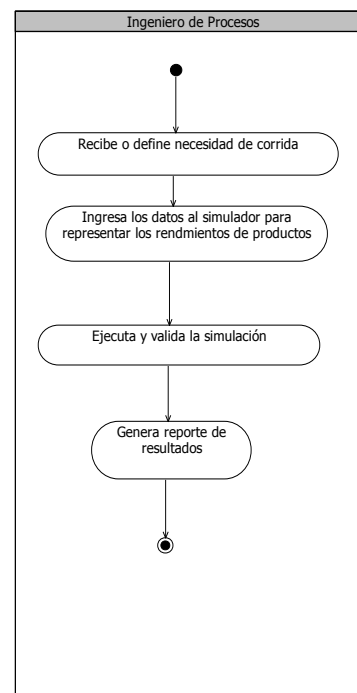


Fig. 2 Proceso de trabajo después de la innovación

Tiene la particularidad que este rompimiento se realiza en presencia de hidrógeno, para ocupar los espacios dejados por los radicales libres de las moléculas craqueadas y así evitar la formación de coque por polimerización. Es por ello, que de manera más específica las reacciones principales de la tecnología son conocidas como reacciones de hidrocrqueo.

Todo este proceso requiere de catalizadores metálicos y no metálicos, para fomentar las reacciones dentro de los reactores, y al mismo tiempo, mejorar las condiciones de mezclado y optimizar otras condiciones de operación requeridas para lograr las conversiones deseadas. Igualmente se lleva a cabo a altas temperaturas y presiones para fomentar el rompimiento de las moléculas y la dilución de los reactivos y el hidrógeno en fase líquida, respectivamente.

En la tecnología HDHPLUS®, los reactantes, hidrógeno y catalizadores son inicialmente mezclados, luego calentados en hornos de carga para proveer la temperatura necesaria para reacción, y luego enviados a los reactores, con respectivos controles de temperatura. Posteriormente, los efluentes de los reactores son enviados al separador caliente, el cual separa los gases y productos líquidos livianos (que son enviados a plantas de hidrotatamiento para ajustar la calidad de los productos y luego realizar las separaciones específicas o fraccionamiento), de los productos pesados, conformados principalmente por parte de destilados medios, residuo no convertido y los catalizadores metálicos y no metálicos.

Basado en lo anteriormente descrito, es fácil entender que, debido a la gran cantidad de variables involucradas en el proceso y que son necesarias conocer y controlar, se hace

indispensable la simulación del proceso, en la cual, la simulación del reactor cumple un papel fundamental.

4 El Proyecto CAPE-OPEN

El proyecto CAPE OPEN es un proyecto fundado en el seno de la Comunidad Europea, siendo sus promotores varias compañías del área de procesos (BASF, Bayer, BP, DuPont, Elf, ICI, IFP, entre otras), universidades (Imperial College, Institut National Polytechnique de Toulouse, RWTH Technische Hochschule Aachen, entre otras) y proveedores de aplicaciones CAPE (Computer Aided Process Engineering) (Aspentech, Simsci, Quantisci, entre otros). El principal objetivo de este proyecto es habilitar la posibilidad de que los componentes de un simulador de procesos comercial puedan ser reemplazados por aquellos de una fuente independiente, que sean parte de otro simulador, o inclusive por componentes que sean desarrollados por la misma comunidad de usuarios de los simuladores, con un mínimo esfuerzo. Con este propósito el proyecto CAPE OPEN se enfoca en el desarrollo, pruebas, descripción y publicación de estándares para interfaces de comunicación entre los componentes de software de un simulador de procesos (Pérez y col., 2005).

Con el objeto de administrar los estándares CAPE-OPEN en el año 2001 se crea la red de laboratorios CAPE-OPEN "CO-LaN". CO-LaN es una organización orientada al usuario y reconocida internacionalmente para la validación y administración de los estándares CAPE-OPEN (Pons, 2005).

4.1 Alcance del proyecto CAPE-OPEN

El foco del proyecto CAPE-OPEN ha sido el generar herramientas para el modelado de procesos y su uso para simulación en estado estable y dinámico. El proyecto ha reconocido dos tipos de esas herramientas, modulares y orientadas a ecuaciones. En una arquitectura para herramientas de modelado de procesos modular, que es el enfoque más común en simuladores de procesos comerciales en estado estable, existe un Process Modelling Executive (PME) que es el responsable de soportar la construcción del modelo y llevar a cabo los cálculos necesarios para resolverlo. Para cumplir este objetivo el PME debe comunicarse con otros módulos que describen, ya sean operaciones unitarias individuales u otros cálculos como equilibrios termodinámicos, algoritmos especializados para resolución de sistemas de ecuaciones o cálculos de propiedades físicas (Pérez y col., 2005). Estos módulos son llamados Process Modelling Components (PMC) ya que se encapsulan las tareas en componentes de software bien definidos.

En la Fig. 3 se muestra de forma gráfica el concepto de CAPE-OPEN referente a la componentización de las diversas tareas que deben ser llevadas a cabo en un simulador de procesos. En este esquema se muestran las fronteras entre los diversos componentes que integran un simulador. Nóte-

se que el PME es el ente responsable de orquestar todas las funciones que desempeñan cada uno de los PMC o componentes de modelado de proceso.

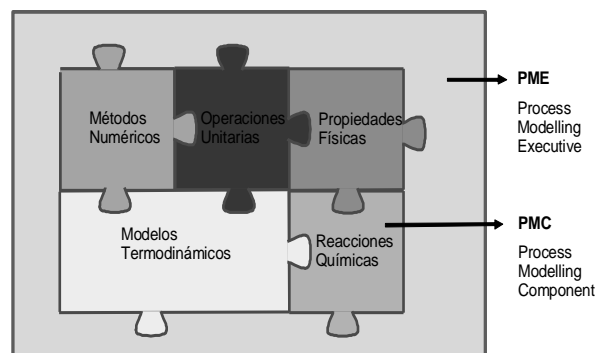


Fig. 3. Enfoque conceptual CAPE-OPEN

4.2 Operaciones unitarias externas

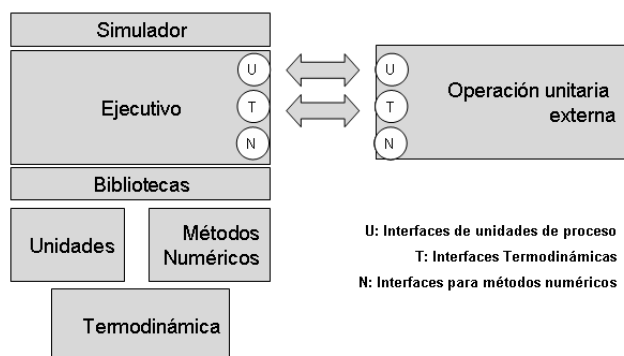
Una de las características importantes de las herramientas de modelado de proceso radican en la necesidad de un PME que se encargue de organizar y coordinar los cómputos que llevan a cabo los módulos individuales de Operaciones Unitarias (OU). Esto implica que los módulos OU no necesitan resolver sus propias ecuaciones, en su lugar, ellos transmiten la información al ejecutivo a través de un sistema de interfaces, que las ensambla en un conjunto de ecuaciones y las resuelve interactuando con uno o más solucionadores numéricos.

El fin último de CAPE-OPEN es permitir el modelado y simulación de procesos complejos de manera exitosa y a un costo manejable utilizando componentes de software colaborativos que puedan provenir de distintas fuentes o proveedores e incluso puedan ser ejecutados en diferentes computadores con diferente hardware (COLaN, 2001).

El sistema de interfaces de CAPE-OPEN (CO) es un estándar que habilita la conexión de un componente de software externo, que puede representar un modelo de una operación unitaria (OU), por ejemplo, a cualquier simulador que soporte el estándar. La interfaz puede ser interpretada como un *socket* o un *plug*, el cual intercambia información entre dos partes. Tanto el simulador como la operación unitaria (OU) no conocen nada acerca de la implementación interna de cada uno de ellos. El trabajo de la interfaz es traducir los requerimientos de información o acción de cada uno de los componentes en un lenguaje entendible (COLaN 2001).

En la Fig. 4 se puede observar el mecanismo de comunicación entre una operación unitaria externa y un simulador de procesos a través de los estándares CO. Nótese que los cálculos correspondientes a la termodinámica son ejecutados por el simulador, de un proveedor en particular, existiendo interfaces de comunicación para esta información entre este simulador y el componente que describe la OU, que puede provenir de otro proveedor. El sistema de inter-

faces mencionadas anteriormente puede ser implementado de diferentes maneras, por ejemplo una simple sub-rutina escrita en un lenguaje orientado a procedimientos como FORTRAN o C. Sin embargo, CAPE-OPEN ha escogido el enfoque orientado a objetos y componentización de software para lograr que cada PMC sea visto como un objeto separado de los demás. La comunicación entre los objetos es manejada por una capa intermedia (middleware) que puede ser de tecnología CORBA o Microsoft COM/.NET. Utilizando estas tecnologías los objetos pueden interactuar con otros objetos basados en definiciones de interfaces expresadas en lenguajes estándar.



Fuente: COLaN (2001, p. 8)

Fig. 4. Interfaces de comunicación CAPE-OPEN para operaciones unitarias externas

La definición de las interfaces del proyecto CAPE-OPEN fue hecha siguiendo el proceso de desarrollo basado en el Lenguaje de Modelado Unificado (UML), permitiendo una notación orientada a objetos para todos los modelos e interfaces, incluyendo los requerimientos de usuario, casos de uso, diagramas de secuencia, diagramas de clase, diagramas de estado y finalmente diagramas de interface, los cuales están acompañados de su correspondiente implementación de middleware (CAPE-OPEN Synthesis Report, 1999).

Metodología

Para el desarrollo de un componente CO de una operación unitaria, es imprescindible conocer con detalles la lógica de cálculo que describe dicha operación. Es por ello que para lograr la implementación bajo los estándares CO

del modelo empírico que describe la tecnología HDHPLUS®, es necesario realizar una descripción detallada de la lógica de cálculo bajo la cual está soportado este modelo.

Para lograr el objetivo, como primer paso se realizó un diagrama de actividades, lo cual se define como “un diagrama de flujo que modela las acciones que un objeto realizará y en qué orden”. Para la construcción de este diagrama de actividades se utilizó la notación UML (Unified Modeling Language) que es el esquema de representación gráfica principalmente utilizado para modelar sistemas.

Como segundo paso, luego de obtener el algoritmo que representa la lógica de cálculo de estimación de los rendimientos de los reactores, se procedió a la implementación de dichos cálculos en lenguaje de programación C# utilizando Visual C# 2005 Express Edition. Ahora bien, para la implementación del estándar CAPE-OPEN existen en el mercado varias herramientas de libre distribución que implementan el estándar. Estas herramientas son de tipo “*wizards*” que generan todo el código esqueleto para desarrollar componentes CAPE-OPEN, evitándole de esta manera al programador la realización de la implementación del estándar y sobre todo de todas las funciones que se repiten de manera similar en cada componente CAPE-OPEN. En ese sentido, en este trabajo se utilizó la implementación de los estándares CAPE-OPEN versión 1.0 realizada por la Universidad de Trieste a través del Laboratorio de Ingeniería de Simulación Molecular (MOSE), denominada *CapOpenToolkit.NET 2007*. Detalles de esta aplicación se pueden encontrar en (Fermeglia y Parenzan, 2007).

Finalmente, luego de implementado los componentes CAPE-OPEN de la tecnología HDHPLUS®, se procedió a las pruebas correspondientes, para validar en primer lugar la interoperabilidad del componente con el software de simulación y en segundo lugar el correcto funcionamiento y desempeño del componente en la obtención de las estimaciones de los rendimientos de los productos. Para ello se utilizó como herramienta de simulación el software “*COCO Simulator*”, una aplicación libre de costo para modelar procesos químicos en estado estacionario (Van Baten y col., 2007).

5 Resultados

Una vez compilados los códigos fuentes, se obtuvieron dos (2) archivos con extensión .dll denominados:

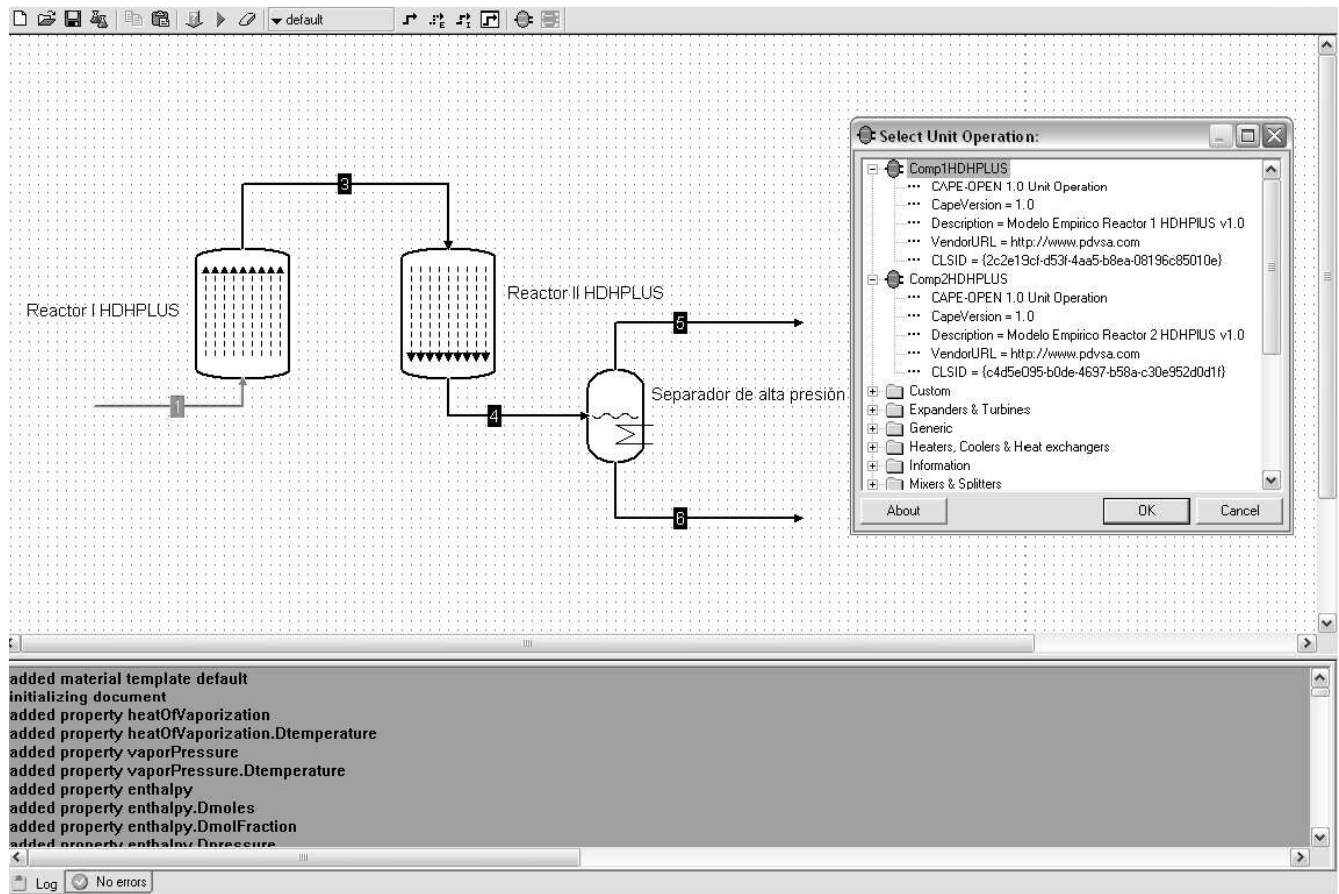


Fig. 5. Componentes desarrollados vistos desde la paleta de operaciones unitarias de COCO Simulator

Comp1HDHPLUS.dll y Comp2HDHPLUS.dll, correspondientes a los modelos de cálculo de los rendimientos de productos en cada reactor.

Estos componentes de software presentan las siguientes características:

- Pueden ser llamados desde cualquier simulador comercial o no comercial que soporte el estándar CAPE-OPEN, a través de la paleta de operaciones unitarias.
- Las propiedades físicas y termodinámicas necesarias para efectuar sus cálculos son obtenidas del paquete de propiedades a través de los métodos e interfaces específicas.

En las figuras 6 y 7 se puede observar una simulación en estado estable utilizando *COCO Simulator* como PME, donde se hace uso de los PMC desarrollados.

Los cálculos realizados por cada componente, se describen a continuación:

6.1 Comp1HDHPLUS.dll

- Cálculos de los flujos y composiciones elementales de las entradas al sistema de reacción global de HDHPLUS®, incluyendo las formulaciones catalíticas, así como también de los diversos productos clasificados por cortes (rangos de puntos de ebullición). Este balance se encuen-

tra expresado en base a 100 unidades de masa de residuo de vacío.

- Estimación del balance de las emulsiones catalíticas en función de compuestos manejables por el paquete de simulación.
- Cálculos de los flujos y composiciones elementales de las entradas al sistema de reacción del primer reactor de HDHPLUS®, incluyendo las formulaciones catalíticas, así como también de los diversos productos por cortes en dicho reactor. Este balance se encuentra expresado en base a 100 unidades de masa de residuo de vacío.
- Cálculos para la generación de las correlaciones para la determinación de rendimientos de los pseudocomponentes líquidos en el primer reactor a partir de las propiedades obtenidas por los cortes.
- Ajustes de los rendimientos de los pseudocomponentes, así como la verificación del cierre de balance de masa del primer reactor de HDHPLUS®, y la posterior asignación de los flujos de salida a partir de los flujos de entrada, así como de las condiciones de operación (temperatura y presión) de dichos reactores en la simulación.
- Ajuste de los rendimientos de los pseudocomponentes, así como la verificación del cierre del balance de masa del segundo reactor de HDHPLUS®, y la posterior asigna-

ción de los flujos de salida del primer reactor, así como de las condiciones de operación (temperatura y presión) de dicho reactor en la simulación.

6.2 Comp2HDHPLUS.dll

- Cálculos de los flujos y composiciones elementales de las entradas al sistema de reacción global de HDHPLUS®, incluyendo las formulaciones catalíticas, así como también de los diversos productos clasificados por cortes (rangos de puntos de ebullición). Este balance se encuentra expresado en base a 100 unidades de masa de residuo de vacío.
- Cálculos para la generación de las correlaciones para la determinación de los rendimientos y propiedades de los pseudocomponentes líquidos a la salida del sistema de reacción global a partir de las propiedades obtenidas para los cortes.

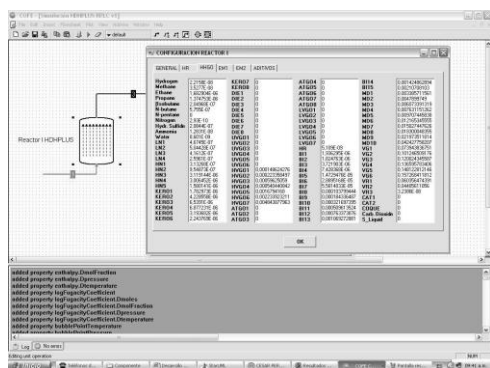


Fig. 6. Componentes considerados usados en el cálculo de los rendimientos del reactor de HDHPLUS®

- Ajuste de los rendimientos de los pseudocomponentes, así como la verificación del cierre del balance de masa del segundo reactor de HDHPLUS®, y la posterior asignación de los flujos de salida del primer reactor, así como de las condiciones de operación (temperatura y presión) de dicho reactor en la simulación.

6 Conclusiones

En el presente trabajo se describió el proceso de desarrollo de componentes de software para simulación de procesos, utilizando los estándares CAPE OPEN, haciendo énfasis en la construcción de los componentes que modelan la lógica de cálculo en la estimación de los rendimientos de los productos de los reactores de la tecnología HDHPLUS®.

Así mismo, se muestra la correcta interoperabilidad de los componentes desarrollados, tanto con el software de simulación COCO Simulator como con los paquetes termodinámicos utilizados en las diferentes corridas de simulación.

Por último, el simulador COCO Simulator, además de ser una herramienta clave para la prueba y validación de componentes de simulación basados en los estándares CA-

PE-OPEN, puede ser utilizado para modelar casos de estudio reales de la industria petrolera que requieran del uso de modelos matemáticos propios, previo desarrollo de las piezas de código necesarias.

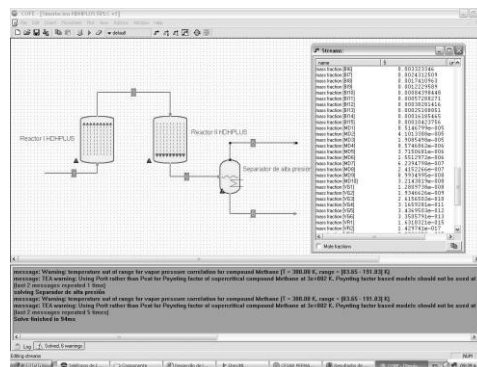


Fig. 7. Corrida de simulación y lista de variables en el componente del reactor de HDHPLUS®

Referencias

Braunschweig B, Paen D, Roux P, Vacher P, 2001, The use of CAPE-OPEN interfaces for interoperability of unit operations and thermodynamic packages in process Modeling. Disponible en: www.rsifrance.com/web_content/downloads/publications/ERTC_IFP_RSI.PDF. Fecha de consulta: 04 junio 2009.

CAPE OPEN Consortium, 1999, CAPE-OPEN: Next generation computer aided process engineering open simulation environment. Syntesis report. Disponible en: http://www.colan.org/Specifications/v093/00_CO_Public_Syntesis.pdf. Fecha de consulta: 03 mayo 2009.

COLaN, 2001, CAPE-OPEN Open Interface Specifications. Unit Operations. Disponible en: <http://www.colan.org/>. Fecha de consulta: 07 de Junio de 2009

COLaN Consortium, 2007, CO-LaN Refinery Reactors SIG. Disponible en Internet: www.colan.org/Conferences/Y07_4thCOUS_344b.pdf. Fecha de consulta: 06 de junio 2009.

De Morais E; De Sousa R; Hoss B; Maciel R; Ramírez R; Wolf M, 2008, Development of an industrial multitubular fixed bed catalytic reactor as CAPE-OPEN unit operation model applied to ethane production by ethanol dehydration process. Disponible en: www.aidic.it/icheap10/webpapers/304Morais.pdf. Fecha de consulta: 01 de Febrero 2011.

Fermeglia M, Parenzan M, 2007, CapeOpenToolkit.NET. Disponible en: http://www.colan.org/Conferences/Y07_4thCOEU_MOSE_Toolkit.pdf. Fecha de consulta: 07 de Junio 2009.

Perez, V.,Brignole, N., Dominich, A., Vazques, G, 2005, A CAPE-OPEN compliant simulation module for an Ammonia reactor unit. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1>

- 21.2736&rep=rep1&type=pdf. Fecha de consulta: 05 de Junio 2009
- Pons M, 2005, What is the CAPE-OPEN Laboratories Network (CO-LaN)? Chemical Processing Magazine. Disponible en: <http://www.chemicalprocessing.com/articles/2005/510.html> Fecha de consulta: 07 de Junio 2009
- Rivas G, Canelón C, Morel F, Dulot, H, Quinard, A, 2009, HDHPLUS® / SHP: A technological option for deep conversion of heavy and extra heavy crude oil. Disponible en: http://geoscan.ess.nrcan.gc.ca/text/geoscan/fulltext/NCUT2009_Paper14.pdf. Fecha de consulta: 01 de Julio 2009.
- Van Baten J; Szczepanski R, 2011, A thermodynamic equilibrium reactor model as a CAPE- OPEN unit operation, Computers and Chemical Engineering, Vol 35, pp. 1251-1256.
- Van Baten J, Kooijman H, Taylor R, 2007, Flowsheeting for free with COCO. Disponible en: http://www.cocosimulator.org/downloads/Winter07_Taylor_Flowsheeting.pdf. Fecha de consulta: 18 de Diciembre 2008

Recibido: 10 de enero de 2011

Revisado: 01 de marzo de 2011