

**XIX ENCUENTRO DE JÓVENES INVESTIGADORES DE LA UNL
14 Y 15 DE OCTUBRE DE 2015, SANTA FE**

**NUEVAS ESTRATEGIAS DE PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES DE
“BLENDING” Y DISTRIBUCIÓN MULTIMODAL DE COMBUSTIBLES**

Arias, Gustavo^{1*}

¹*Cientibecario – INTEC (UNL – CONICET). Estudiante de Ingeniería Industrial (FIQ – UNL)
ariasgustavoo@gmail.com*

Palabras clave: Combustibles, Blending, Programación de operaciones, Optimización
Área temática: Ingeniería
Sub – área: Industrial

INTRODUCCIÓN

Considerando que las naftas son los productos que más contribuyen a las ganancias de una refinería de petróleo, y teniendo en cuenta la actual dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía, particularmente para el transporte, satisfacer la creciente demanda de estos productos en tiempo y forma representa un desafío para los operadores. Es importante generar una herramienta computacional que permita optimizar el plan de mezcla de componentes y distribución de naftas en el corto plazo. La programación adecuada de estas operaciones en una refinería ofrece importantes oportunidades para el ahorro de costos y el aumento de los beneficios.

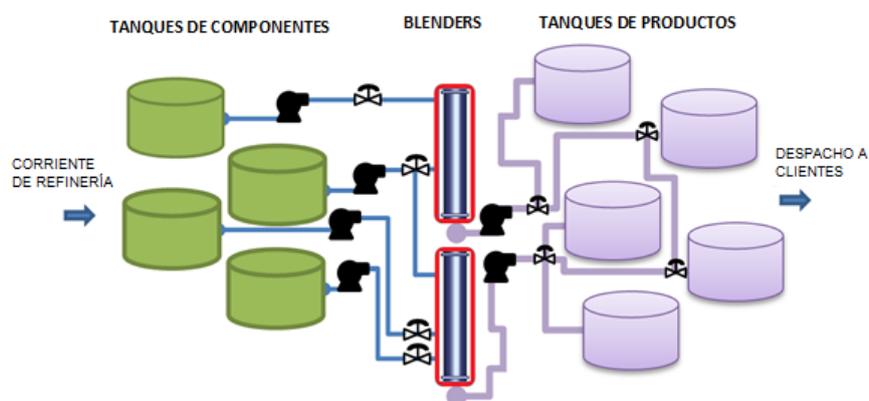


Figura 1. Proceso de “blending” y distribución de combustibles

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las operaciones de “blending” de combustibles consisten en el mezclado de componentes, producidos por la refinería y almacenados en tanques, utilizando equipos mezcladores (“blenders”), para lograr productos con las especificaciones que exige el mercado (octanaje, presión de vapor, contenido de azufre, entre otras). Los blenders generan, en proceso semi-continuo, productos finales que son depositados en tanques a la espera de cumplimentar órdenes de clientes. La planificación de estas operaciones en el corto plazo involucra múltiples decisiones que deben tomarse con el objetivo de satisfacer las órdenes recibidas, en tiempo y forma. En primer lugar, se debe determinar el número y la secuencia de lotes a procesar, sus tamaños y recetas asociadas. Además, se debe planificar y controlar el uso de tanques de

almacenamiento, como así también generar planes de despacho de los productos hacia el mercado de consumo. A la integración de aspectos operativos y logísticos se incorporan las múltiples restricciones propias de todo proceso productivo, lo que conforma un problema de considerable tamaño y complejidad combinatoria.

OBJETIVOS

Se ha trabajado en el diseño de un nuevo modelo matemático para la optimización de las operaciones de “blending” de combustibles a partir de la generación de planes precisos de producción a corto plazo, buscando satisfacer en tiempo y forma las órdenes de los clientes, evitando demoras en los despachos y respetando las especificaciones de calidad de los productos, reduciendo costos de almacenamiento de los productos en los tanques y minimizando los costos de procesamiento. Todo esto teniendo en cuenta la disponibilidad de componentes producidos en la refinería.

METODOLOGÍA

Se adoptó una nueva estrategia para la formulación de un modelo matemático de programación lineal mixta entera (MILP), que permite optimizar las operaciones de “blending” y distribución de combustibles de una refinería de petróleo. Gran parte de los trabajos científicos publicados en el área (Karimi et al., 2011, Cedrá et al., 2015) han propuesto la formulación de modelos matemáticos MILP utilizando un enfoque de tiempo continuo. Estos modelos carecen de la potencialidad de ser introducidos en el ambiente industrial debido al esfuerzo computacional que demandan. La nueva metodología propuesta se basa en el concepto de “precedencia generalizada”, utilizada para la secuenciación de las actividades que involucran a los tanques de almacenamiento de productos finales. Estas actividades involucran el abastecimiento de mezclas desde los “blenders”, y el despacho de las órdenes. El modelo permite además llevar el control de los inventarios en los tanques de almacenamiento de capacidad limitada, control que plantea el mayor de los desafíos para su formulación. Al respecto, las últimas publicaciones del área (Méndez et al., 2006) exponen que la principal debilidad del enfoque precedencia generalizada es la dificultad para modelar matemáticamente el control de los inventarios en tanques de almacenamiento de capacidad limitada. No obstante los desafíos que plantea el desarrollo de este tipo de modelos, se ha logrado formular un programa matemático MILP integrado del problema a través de restricciones lineales sencillas, incluyendo todas las características propias de las operaciones estudiadas. También se ha desarrollado e implementado el enfoque de “conjuntos pre-ordenados”. El mismo se aplica a las fases de “blending” y distribución. El pre-ordenamiento utilizado consiste en fijar el orden de los lotes de manera cronológica creciente, pero dejando en manos del modelo con qué componente o producto se relaciona cada lote.

Formulación matemática

Cada lote de producción “ ib ” está asociado a un blender “ b ” y a un producto “ p ” (Ec. 1). La variable binaria “ $w_{p,ib}$ ” tomará valor unitario si el lote ib es de producto p , y la variable binaria “ $w_{b,ib}$ ” tomara el valor unitario si el lote ib se procesa en el “blender” b .

$$\sum_{b \in B} w_{b,ib} = \sum_{p \in P} w_{p,ib} \leq 1 \quad ; \quad \forall ib \in IB \quad (1)$$

El orden de los lotes se fija de manera cronológica creciente (Ec. 2). Si un lote “ l ” fue asignado a un producto o componente (esto es, “se utiliza”), entonces el lote “ $l-1$ ” también debe ser asignado a un producto o componente.

$$\sum_{l \in L} w_{l,ik} \leq \sum_{l \in L} w_{l,ik-1} \leq 1 \quad ; \quad \forall ik \in IK, ik > 1 \quad (2)$$

El tiempo de finalización de un lote (Ck_l), es igual al tiempo de inicio (Sk_l) más la duración del mismo (Lk_l). (Ec. 3)

$$Ck_l = Sk_l + Lk_l \quad ; \quad \forall ik \in IK \quad (3)$$

El despacho de las órdenes se realiza desde los tanques de almacenamiento de producto final $j \in J$ y su volumen está definido por la variable $QITT_{j,p,it,o}$. La ecuación establece que la cantidad abastecida desde los tanques a través de los lotes "it" de producto "p" debe ser mayor o igual a la cantidad exigida en las órdenes. Los conjuntos bidimensionales OP y PJ relacionan órdenes con productos y productos con tanques, según el caso. (Ec. 4)

$$orden_{o,p} \leq \sum_{it:(j,p) \in PJ} QITT_{j,p,it,o} \quad ; \quad \forall o \in O, p \in P, (o,p) \in OP \quad (4)$$

Es fundamental la definición apropiada de puntos de control o instantes críticos en los que debe realizarse un balance global de los inventarios para verificar que: (a) la capacidad del tanque no fue desbordada (Ec. 5); y (b) no se ha producido el vaciado del tanque (Ec. 6). Se proponen como puntos de control los instantes de culminación del abastecimiento de cada lote de producto desde los "blenders" y el instante de culminación de cada despacho de un lote de producto destinado a satisfacer la demanda de una orden. Para la restricción de desborde, se contabilizará la cantidad $QCP_{j,p,ip}$ producida por el "blender" y descargada en cada uno de los tanques hasta el momento de culminación del lote "ip" y se descontará el volumen total $QDP_{j,p,ip}$ despachado al mercado desde el inicio del horizonte de planeación hasta el momento de culminación del lote "ip". $PL_{j,p}$ representa el inventario inicial en cada tanque. Y para la restricción de vaciado se contabilizará la cantidad $QCT_{j,p,it}$ producida por los "blenders" y descargada a cada uno de los tanques hasta el momento de culminación del lote "it" y se descontará el volumen total $QDT_{j,p,it}$ despachado del mercado desde el inicio del horizonte hasta el momento de culminación del lote "it". Donde los lotes "it" son lotes de descarga y los lotes "ip" de carga de los tanques. Estos últimos se ordenan en forma óptima según las ecuaciones 7 y 8. La variable binaria " $w_{ip,it}$ " toma valor unitario si el lote "ip" precede al lote "it". La variable binaria $w_{j,ip}$ toma valor unitario si el lote "ip" se descarga en "j", y la variable binaria $w_{j,it}$ si el despacho del lote "it" proviene del tanque "j".

$$IJP_{j,p,ip} = PL_{j,p} + QCP_{j,p,ip} - QDP_{j,p,ip} \leq capjmax_j \quad ; \quad \forall j \in J, p \in P, ip \in IP, (j,p) \in PJ \quad (5)$$

$$IJT_{j,p,it} = PL_{j,p} + QCT_{j,p,it} - QDT_{j,p,it} \leq capjmin_j \quad \forall j \in J, p \in P, ip \in IP, (j,p) \in PJ \quad (6)$$

$$ST_{it} \geq CP_{ip} - Mt \times [1 - xp_{ip,it}] - Mt \times [2 - wp_{j,ip} - wt_{j,it}]; \forall j \in J, ip \in IP, it \in IT \quad (7)$$

$$SP_{ip} \geq CT_{it} - Mt \times [xp_{ip,it}] - Mt \times [2 - wp_{j,ip} - wt_{j,it}]; \forall j \in J, ip \in IP, it \in IT \quad (8)$$

En cuanto a las propiedades, cada lote ib se compone de una mezcla de volúmenes de lotes "ik" de varios componentes (Ec. 9). La Ec. 10 define el valor final de cada propiedad para cada lote, " $propc_{s,i}$ " especifica el valor de cada propiedad asociado a cada componente y " $low_{s,p}$ " define el valor mínimo de la propiedad que debe estar presente en el producto final.

$$Q_{i,ib,p} = \sum_{ik \in IK} Q_{1,i,p,ik,ib} \quad ; \quad \forall i \in I, ib \in IB, p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} Q_{i,ib,p} \times propc_{s,i} \geq low_{s,p} \times \sum_{i \in I} Q_{i,ib,p} \quad ; \quad \forall ib \in IB, p \in P, s \in S \quad (10)$$

La función objetivo (Ec. 11) minimiza los costos de elaboración, transición del “blender” y las demoras en las entregas.

$$\text{Min } z = \sum_{i \in I} QI_i \times \text{costcomp}_i + \sum_{o \in O} hol_o \times \text{costdem} + \sum_{b \in B; ib \in IB} wb_{b,ib} \times \text{ctransb} \quad (11)$$

RESULTADOS PRELIMINARES

Hasta el momento, el modelo matemático propuesto fue implementado y validado en un problema de blending cuya estructura consiste en: 9 tanques de almacenamiento de componentes, un blender, 5 tanques de almacenamiento de productos finales, 5 órdenes y 3 productos. Analizando los resultados que entrega el modelo matemático, se observa que se cumple con la demanda de todos los productos en tiempo y forma, no incurriendo en demoras. Los únicos costos en los que se incurre se deben a la utilización de componentes y a las transiciones de producto en el blender. Dado que la cantidad almacenada inicialmente en los tanques dedicados de producto final no es suficiente para hacer frente a la demanda de los productos, se debieron realizar dos campañas de producción, la primera de producto “p2” y la segunda de producto “p1”. La resolución del problema insume un costo computacional de 1000 segundos para alcanzar una tolerancia de óptimo de 3,41% (gap), involucrando 230 variables discretas, 1230 continuas y 3936 restricciones.

CONCLUSIONES

Se ha propuesto una nueva formulación matemática del problema de blending y distribución de combustibles utilizando el concepto de precedencia generalizada para la secuenciación de las operaciones en los tanques de almacenamiento final, con el fin de determinar el orden óptimo de cargas y descargas, como así también llevar el control preciso del nivel de stock. Por otro lado, se ha recurrido al pre-ordenamiento cronológico de lotes, el cual busca generar una reducción de los tiempos computacionales, definiendo el orden de los lotes desde un primer momento. Se busca así que el modelo identifique los momentos óptimos de inicio y fin de cada uno de ellos. A priori, el esfuerzo de cómputo aparece elevado frente a representaciones continuas previas, lo que exigirá estudiar nuevas estrategias de resolución, como la incorporación de cortes enteros a la región factible del problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Li, J., Karimi, I. A.**, 2011. Scheduling gasoline blending operations from recipe determination to shipping using unit slots. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50, 9156-9174.
- Cerdá, J., Pautasso, P., Cafaro, D.C.**, 2015. Efficient approach for scheduling crude oil operations in marine-access refineries. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 54, 8219-8238.
- Méndez, C. A., Cerdá, J., Grossmann, I.E., Harjunkoski, I. & Fahl, M.**, 2006. State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Comput. Chem. Eng.* 30, 913-946.
- Montagna, A., Cafaro, D.C., Cerdá, J.**, 2013. An efficient MILP approach for the short-term planning of refined products blending and distribution operations. *Comput-Aided Chem. Eng.* 649-654.