



La informática en el *downstream*

Implementación de un Controlador Multivariable por Matriz Dinámica [DMC]TM

por Carlos Ramírez, Marcelo Ruiz y Carlos Lago (YPF S.A.);
Carlos A. Ruiz (Soteica); y Charles Johnston
y Arturo Monterrubio (The Dynamic Matrix Control Corporation)

La Refinería La Plata de YPF S.A. encaró un ambicioso plan de implementación de controladores multivariables restringidos en plantas completas y la adquisición de una "Site License" que le permitirá implementar dicha tecnología en todos los procesos de esta refinería.

Los controladores, en general, maximizan la economía del proceso y aseguran una operación más estable manteniendo a la planta de manera consistente en el óptimo de sus restricciones.

Marcelo Daniel Ruiz es Ingeniero Químico de la Universidad Tecnológica Nacional (1986). Ingresó en YPF-DRRLP en 1983, desempeñándose entre 1983-1986 en el área de Mantenimiento. A partir de 1986, en el grupo de producción del área Combustibles 1. Actualmente integra el grupo de aplicaciones de control avanzado y optimización de procesos.

Carlos Eduardo Ramírez es Ingeniero en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de La Plata (1983). Ingresó en YPF-DRRLP en 1984 a través del curso de Ingeniería en Petróleo en la especialidad Industrialización en el Instituto Argentino del Petróleo de la UBA. Se desempeñó desde 1985 a 1989 en el área de Tecnología de Instrumentos. A partir de 1989 en el grupo de optimización del área Mayor Conversión. Actualmente integra el grupo de aplicaciones de control avanzado y optimización de procesos.

Carlos Alberto Lago es Ingeniero Químico de la Universidad Tecnológica Nacional (1976). Ingresó en YPF-GID en 1977 a través del curso de Ingeniería en Petróleo en la especialidad Industrialización en el Instituto Argentino del Petróleo de la UBA. Se desempeñó desde 1977 hasta 1991 en el grupo de control de procesos del área Refinación y Petroquímica. A partir de 1991, en el grupo de Instrumentación y Control del CTA. Actualmente integra el grupo de aplicaciones de control avanzado y optimización de procesos.

Carlos A. Ruiz desarrolla sus actividades en la firma SOTEICA.

Charles Johnston desarrolla sus actividades en la firma The Dynamic Matrix Control Corporation de Estados Unidos.

Arturo Monterrubio desarrolla sus actividades en la firma The Dynamic Matrix Control Corporation de Estados Unidos.

EL MERO REEMPLAZO, lazo a lazo, de controladores de vieja generación por modernos sistemas de control lógico programable (PLC) o distribuido (DCS) no hace que se obtengan retornos apreciables de la inversión realizada. Si bien dichos reemplazos son efectuados muchas veces por razones de obsolescencia y falta de repuestos de la instrumentación antigua, resultan difíciles de justificar económicamente y pocas veces se pueden conseguir tasas de retorno aceptables. Sólo aplicaciones de control optimizante que contemplen una visión de la planta completa podrán obtener rendimientos mensurables de los sistemas de control modernos.

En ese contexto, **La Refinería La Plata de YPF S.A.** ha encarado un ambicioso plan de implementación de controladores multivariables restringidos basados en la tecnología de *The Dynamic Matrix Control Corporation* (DMCC). El primer paso en tal sentido es el desarrollo de cinco controladores [DMC] de plantas completas y la adquisición de una "Site License" que le permitirá implementar dicha tecnología en todos los procesos de la Refinería La Plata. Al presente, se encuentran operando ya dos de los controladores, en las plantas de Coque B y Vacío B, estando en etapa de desarrollo y comisionados los restantes, que serán aplicados a las unidades de *Cracking Catalítico Fluidizado A y B* y a una de las plantas de *Topping*.

Demandó seis meses de labor, desde la prueba preliminar del proceso hasta su comisionado, período en el que participó activamente el *team* de control avanzado de YPF en estrecho contacto con los especialistas de DMCC y Soteica encargados del proyecto. Se produjo, de esta forma, una provechosa transferencia de tecnología que permitió desarrollar "know-how" interno para encarar futuros proyectos en la Refinería La Plata.

Tecnología de la matriz dinámica de control

El controlador [DMC] tiene tres funciones separadas, todas ellas ejecutadas completamente durante cada ciclo de control, que se muestran en la Fig. 1 y son explicadas a continuación:

1. Rutina de predicción.
2. Programa lineal para el manejo de restricciones y optimización económica.
3. Rutina de cálculo para control óptimo de movimientos.

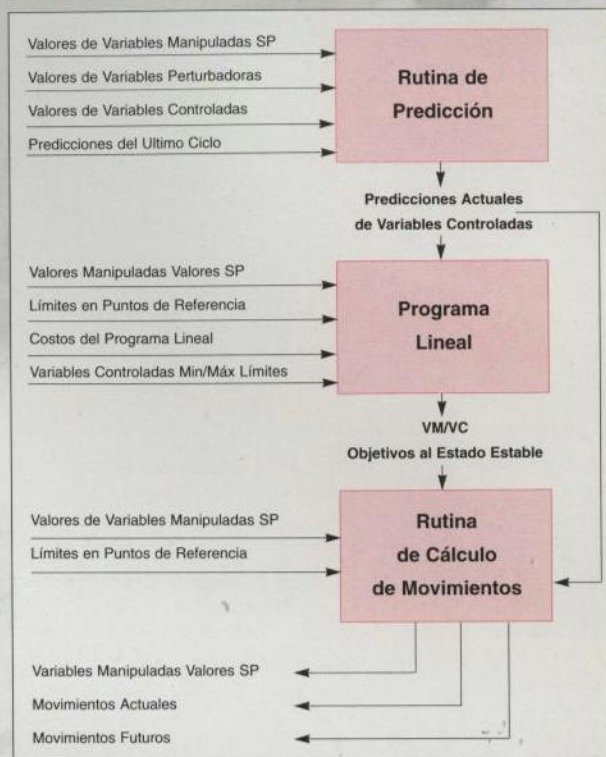
1. Rutina de predicción

Contando con el modelo dinámico completo del proceso, obtenido con el *software* de identificación multivariable [DMI] (incluido en el paquete de *software*), el controlador utiliza toda la información relevante del pasado para predecir el comportamiento de todas las variables controladas desde el momento actual hasta su estado estacionario futuro. Este tiempo es comúnmente conocido como el horizonte de tiempo del proceso y depende de cada planta en particular, en el caso de la unidad de Coque, resultó ser de 90 minutos.

2. Programa lineal

El programa lineal (LP) que forma parte íntima del controlador, utiliza la

Fig. 1



predicción hasta el estado estacionario y los costos de las variables manipuladas para encontrar el punto operativo óptimo del proceso (óptimo económico). El programa lineal identifica el punto óptimo de operación en el estado estable teniendo en cuenta las restricciones del proceso (por ejemplo, máximas temperaturas de piel de tubo, porcentaje de O_2 en gas de combustión, límites de calidad en productos, máxima capacidad de equipos, etc.), durante cada ciclo de control. El LP asegura que el proceso sea continuamente llevado hacia la operación que más utilidades proporciona. El [DMC] LP está basado en tecnología lineal estándar, por lo que no se necesitan aproximaciones o abreviaciones de cálculo.

La función objetivo para el programa lineal es calculada con los precios más recientes del producto, alimentación y costo de servicios, durante cada ciclo de control.

Las restricciones operativas son incluidas en el controlador como variables dependientes (controladas) con límites superior e inferior. El LP permite al controlador tener más variables dependientes que manipuladas.

El LP asegura que ninguno de los límites en las restricciones sea violado mientras se maximiza la utilidad.

3. Cálculo de movimientos de control

El controlador dinámico proporciona control óptimo del proceso. Calcula ocho movimientos futuros para cada variable manipulada. El controlador dinámico utiliza la predicción futura de la respuesta del sistema y los objetivos del estado óptimo del LP para planear los movimientos futuros en las variables manipuladas. El conjunto de movimientos futuros minimiza la desviación del objetivo de LP para cada variable dependiente (controlada) en el horizonte total de tiempo hasta el estado estacionario.

El controlador [DMC] reconoce las restricciones en las variables manipuladas en ambos intervalos de control, presente y futuro. Es importante hacer notar que los movimientos actuales de control no pueden ser determinados correctamente sin considerar las restricciones futuras en las variables manipuladas.

El "factor de supresión de movimientos" es uno de los parámetros de sintonía más importantes para el controlador [DMC]. Esto genera un compromiso entre la cantidad de movimiento en las variables

manipuladas (por ejemplo: qué tan agresivo es el controlador) y la velocidad de control sobre las variables dependientes. El "factor de igualdad del error" es el parámetro de sintonía que permite priorizar el control de las variables más importantes por sobre las restantes.

[DMI] y la identificación del modelo del proceso

El identificador de la matriz dinámica, [DMI], es un programa muy poderoso que proporciona modelos numéricos del tipo múltiples-entradas, múltiples-salidas (MIMO) derivados de la información proveniente de probar la planta.

De manera diferente a los métodos tradicionales, [DMI] permite que todas las variables manipuladas y perturbaciones *feed-forward* puedan ser movidas en cualquier momento de la prueba de proceso. Esta etapa, durante la cual se obtiene la información dinámica de la planta, llevó dos semanas de trabajo las 24 horas del día. Mientras se realizó la prueba, el proceso no necesitó estar en estado estable. También a los operadores de la planta se les dejó libertad de hacer los ajustes necesarios a cualquier variable manipulada y mantener así las especificaciones de producto. Se respetó la más absoluta seguridad operativa.

[DMI] no presupone ninguna forma específica del modelo dinámico (a diferencia de otras tecnologías que aproximan las funciones de transferencia a sistemas simples de primer orden con tiempo muerto) y determina el mejor conjunto de coeficientes dinámicos para cada respuesta en particular.

Ejecución del proyecto de control [DMC]

Un proyecto de control [DMC] requiere las mismas etapas básicas independientemente del tipo de proceso en que se instale el controlador. Lo siguiente describe las principales actividades realizadas en el proyecto de Control Avanzado para la instalación de un controlador [DMC] en la planta de Coque.

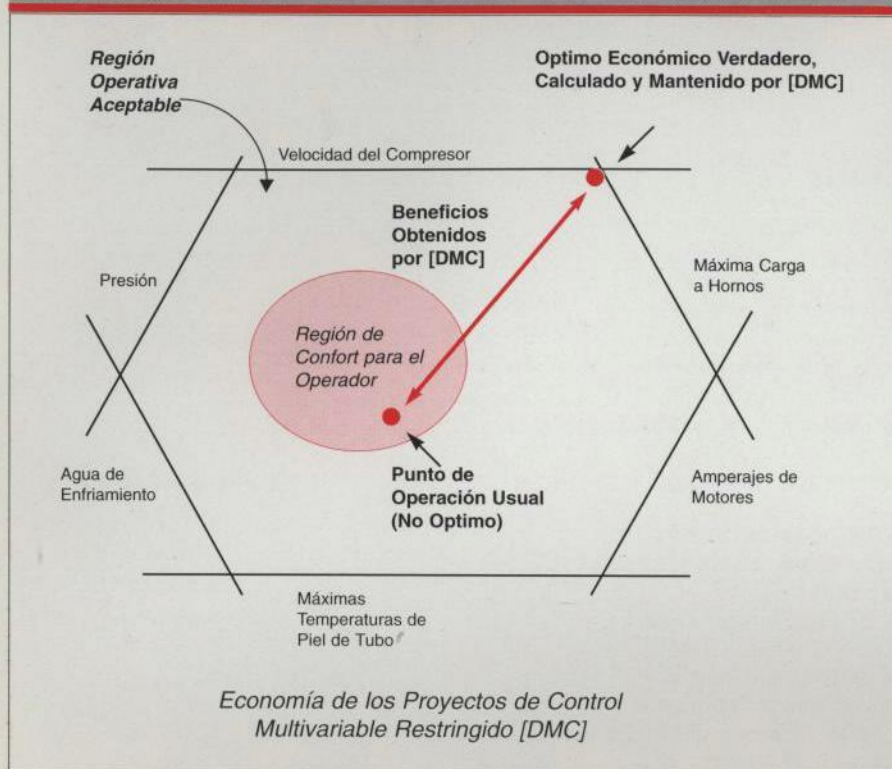
Diseño inicial del controlador

Durante la fase inicial del proyecto, el diseño del controlador se revisó con el personal técnico del team de YPF y el personal operativo de la planta. Esta revisión aseguró que la estructura recomendada del controlador (selección de variables manipuladas, perturbadoras *feed-forward* y controladas) incluyera todas las restricciones del proceso, así como los puntos operativos relevantes. A posteriori se realizaron cambios menores a este diseño sobre la base de la información adquirida durante los periodos de pre-prueba y prueba.

Prueba de la planta para la identificación del modelo

Una pre-prueba del sistema regulador se llevó a cabo antes de la prueba. Esta pre-prueba consistió en "mover" cada variable manipulada y monitorear la respuesta del sistema regulador de control. Esto proporcionó información sobre el tiempo que tardaba el proceso en alcanzar su estado estable, así como la calidad de sintonía de los controles existentes, el "tamaño" de los movimientos requeridos durante la prueba para obtener información y la calidad de las señales que provienen del sistema de control. Durante la etapa de pre-prueba, la planta fue perturbada el tiempo suficiente para permitir la identificación del proceso haciendo uso de [DMI]. En este punto, el proceso fue monitoreado aproximadamente 16 horas

Fig. 2



diarias para obtener información acerca del comportamiento dinámico de la unidad. Así pues, se necesitó que el sistema de recolección de datos, para adquirir muestras de todas las variables del proceso cada minuto, se encontrara instalado y operando durante la pre-prueba.

Al finalizar esta etapa se redactó un informe detallado de las deficiencias encontradas en la instrumentación y las recomendaciones de algunas medidas adicionales a instalar y estrategias de control a modificar. Una vez que los problemas de instrumentación fueron corregidos, se pudo llevar a cabo la prueba final de la planta.

La prueba del proceso se llevó a cabo durante dos semanas, 24 horas al día, con ingenieros de control de DMCC y Soteica monitoreando la unidad durante el período completo.

La prueba del proceso implicó perturbar voluntariamente cada variable manipulada aproximadamente quince veces y recolectar la información para prácticamente toda medición relevante en la unidad. Esta prueba tuvo un impacto menor en el proceso, ya que el programa de identificación [DMI] permitió un procedimiento de prueba muy flexible. Para mantener un desempeño aceptable en la unidad, el operador pudo modificar la variable independiente perturbada en cualquier momento durante la prueba de la planta. Las únicas restricciones que se mantuvieron son la estructura del control regulador a lo largo de la

prueba y que el movimiento en cada variable independiente no estuviera relacionado con otra, para poder discernir el efecto de cada una de ellas sobre el proceso. El operador pudo decidir también el tamaño y dirección de cualquier movimiento en las variables independientes durante la fase de prueba del proceso.

Simulación y sintonía del controlador

El modelo desarrollado a partir de la identificación de los datos de la prueba se utilizó con el Programa Generador de la Matriz Dinámica [DMG], propiedad de DMCC, que sirve para "generar" una matriz de control que posteriormente será utilizada por el controlador [DMC]. Esta matriz de control es también leída por el programa de simulación fuera de línea DMC-SIM, el cual permitió simular *off-line* las respuestas del sistema controlado ante perturbaciones varias y cambios en puntos de referencia. Este fue un proceso interactivo, en donde se regresó varias veces al programa [DMG] para modificar la sintonía basándose en los resultados de DMCSIM. Una vez que se logró satisfacción con los resultados de la sintonía, la matriz de control utilizada por el programa en línea [DMC] se transfirió a la computadora de control AWS1 para cerrar el ciclo.

Beneficios del controlador [DMC]

En general, los controladores [DMC] maximizan la economía del proceso ase-

gurando una operación más estable (reduciendo impactos debidos a perturbaciones del proceso) y manteniendo a la planta de manera consistente en el óptimo de sus restricciones. Esta característica de llevar al proceso al límite de su capacidad operativa constituye una virtud simple y fundamental de la tecnología del controlador [DMC]. Basándose en la experiencia en el control de complejos sistemas interactivos se ha demostrado que, para obtener el máximo rendimiento, es necesario resolver el sistema de control de manera global al mismo tiempo, durante cada intervalo de control y encontrar así la mejor trayectoria para movimientos futuros en cada variable manipulada.

El mayor provecho que [DMC] saca del proceso se debe a que puede mantenerlo continuamente en el límite de sus restricciones físicas, donde generalmente se encuentra el óptimo económico operativo. Esto no puede ser realizado por ningún operador humano en forma sostenida en el tiempo y es conocido que todo operario mantiene a la planta en una "región de confort" personal casi nunca coincidente con el óptimo. La Fig. 2 ilustra este concepto.

CONCLUSIONES

Esta primera aplicación de un controlador [DMC] en la Refinería La Plata de YPF S.A. ha resultado exitosa desde todo punto de vista:

- El controlador ha redituado beneficios económicos importantes.
- Se mejoró notablemente la estabilidad de la planta de Coque, especialmente en lo que hace al impacto de los cambios de cámara sobre la fraccionadora principal y los procesos aguas abajo de la misma.
- Se logró una muy buena aceptación por parte de los operadores de la planta, que se mostraron sumamente cooperativos y entusiastas durante las etapas previas de prueba y diseño.
- El team de Control Avanzado de la Refinería ha recibido la transferencia de tecnología en la forma más conveniente: poniendo manos a la obra sobre ella.
- El plazo de ejecución resultó muy bueno, el proyecto se completó en sólo seis meses.