

TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIANTES EN ANÁLISIS OPERACIONAL, MONITORIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS

ESTADO DEL ARTE, APLICACIONES Y PROSPECTIVAS

Laura Markiewicz, Héctor Menez, Carlos Lago

YPF S.A

lmarkiewicz@ypf.com, hmenezv@ypf.com, clagoe@ypf.com

SINOPSIS

En muchas plantas industriales se miden, en forma continua centenares de variables de proceso y sus valores se almacenan en voluminosas bases de datos. Estas bases de datos, que contienen la historia y la experiencia del proceso, pueden ser una fuente de información muy rica para mejorar la operación, la calidad del producto y el consumo de energía en la operación. Sin embargo, hallar la información relevante del proceso sin el uso de herramientas de análisis apropiadas, resulta una tarea muy difícil, si no imposible.

De esta manera, los datos históricos del proceso, que representan un enorme depósito de la experiencia operativa de las unidades, a menudo obtenidos con costos significativos, se convierten en un recurso escasamente aprovechado.

Estas nuevas realidades derivadas de la *era digital*, han provocado un renovado interés por el uso de herramientas estadísticas multivariantes (MSPC) que permitan descubrir y extraer el conocimiento implícito residente en esos repositorios de datos, de modo de aplicarlos a la gestión eficiente de los procesos industriales.

La cantidad y diversidad de aplicaciones de las técnicas estadísticas multivariantes en el ámbito industrial y en particular en el área de refino han aumentado significativamente en los últimos años y es de esperar que esta tendencia se incremente ya que permite resolver problemas muy diversos:

- Mejorar la comprensión general del proceso y simplificar su interpretación mediante herramientas gráficas. Sentar las bases de conocimiento necesario para establecer modelos operativos óptimos derivados de la propia historia operacional de la unidad.
- Facilitar la prevención y el diagnóstico de fallos y perturbaciones en el proceso, identificando sus causas.
- Identificar las variables de proceso significativas y su correlación y efectos sobre la calidad del producto.
Generar modelos predictivos basados en el comportamiento real del proceso, optimizando la operación y asegurando especificaciones de productos sin regalos de calidad

En este trabajo se mostrará una aplicación de estas herramientas a la monitorización en línea de las operaciones de preparación de gasolinas.

Introducción

Las técnicas estadísticas tradicionales de control de procesos, analizan un pequeño conjunto de variables de calidad en forma individual, y monitorean el desempeño del proceso realizando acciones correctivas a partir de fallos detectados durante el proceso o en el producto intermedio o final.

Estas herramientas tradicionales estudian cada variable en forma separada, omitiendo el hecho de que una anomalía en el proceso puede evidenciarse no solo por valores inusuales en cada una de las características que se estudian, sino también por distorsiones en las relaciones entre ellas.

Actualmente, el avance de los sistemas de generación y colección de datos permite obtener gran cantidad de datos de procesos, dificultando su interpretación y requiriendo métodos de análisis más eficientes, que permitan un mayor aprovechamiento y que sean capaces de extraer información relevante para la optimización y toma de decisiones.

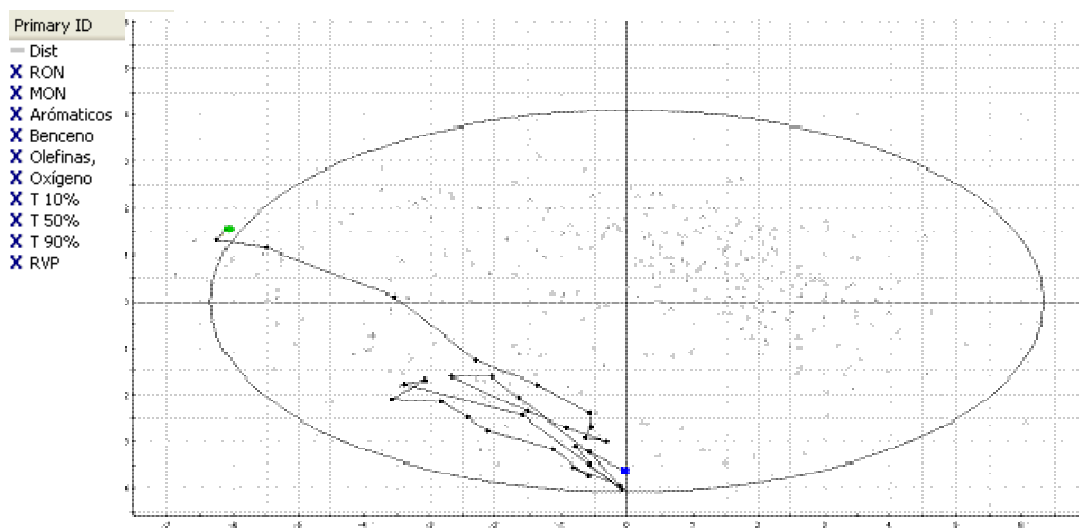
Además, la creciente demanda en calidad, reducción de costos de procesamiento y minimización del quality giveaway en productos, incrementa los requerimientos para una operación optimizada de los procesos.

Cabe también señalar, que la naturaleza de los procesos industriales rara vez son univariantes, en general dependen de gran cantidad de variables de proceso y de calidad, con presencia de efectos de interacción entre ellas.

Este escenario ha impulsado en la última década un fuerte desarrollo de las técnicas de control estadístico de procesos multivariantes (MSPC), capaces de controlar y diagnosticar procesos de alta complejidad, tanto por su gran cantidad de variables de proceso como por su interdependencia.

La principal ventaja de las herramientas multivariantes reside en la facilidad de visualización de resultados, sin necesidad de conocer el fundamento de estas técnicas que requiere un amplio conocimiento de las técnicas quimiométricas.

1- Gráficos de Monitorización de Proceso Mediante MSPC



En la industria de procesos las principales aplicaciones se encuentran en las áreas de monitoreo y control de procesos, sensores virtuales, sistemas expertos de toma de decisiones, detección de fallos y sistemas de diagnóstico.

Monitoreo de procesos: detección de fallos y sistemas de diagnóstico

Uno de los usos más extendido dentro de este campo es el modelado descriptivo para la mejor comprensión de los procesos o “process understanding”.

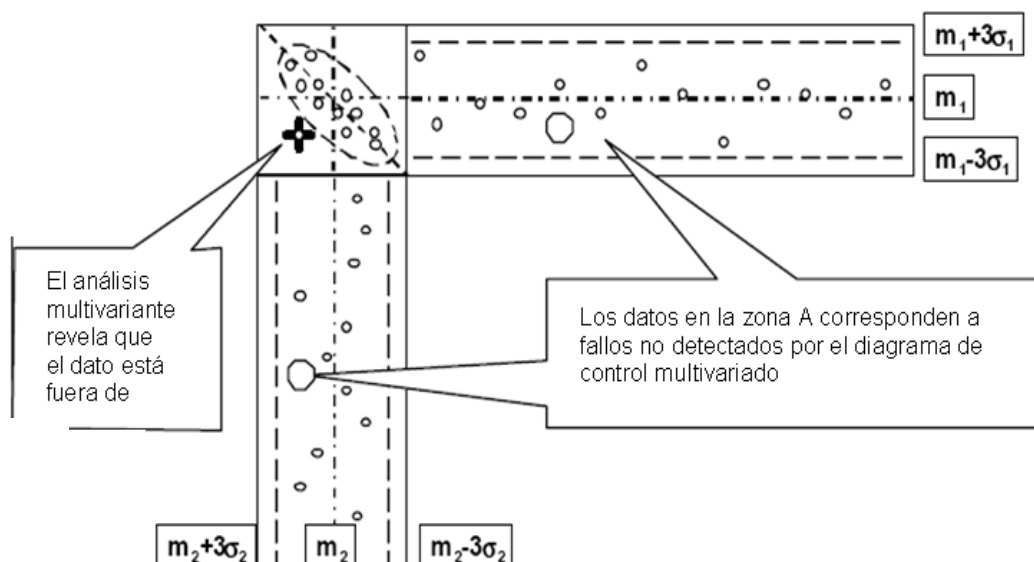
Los principales métodos usados para extracción de información a partir de datos históricos de procesos son:

- estadísticos: análisis por componentes principales (PCA), regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) y clasificación de patrones estadísticos (PCA clases, PLS clases, PLS-DA)
- no-estadísticos: redes neuronales

Estas técnicas resultan útiles para evaluar la operación del proceso en base a datos históricos, hallar los modos normales de operación e identificar y conocer las variables responsables de perturbaciones en el proceso.

Este enfoque supera las debilidades de los métodos univariantes de monitoreo de procesos ya que es capaz de detectar fallos no solo por la existencia de un valor fuera de los límites de control, sino también por una variación en la relación entre las variables en forma conjunta.

2- Ventajas de un Diagrama de Control Multivariado: caso de dos variables m_1 y m_2



Resulta ya sabido que la corrección a posteriori de salidas de control y/o productos fuera de especificación incrementa el costo y tiempo de producción. Por lo tanto, el mayor valor agregado, aportado por estas técnicas para el monitoreo y diagnóstico de fallos es su potencia en la detección temprana de tendencias temporales que anticipan la salida de control de un proceso, produciendo ahorros significativos.

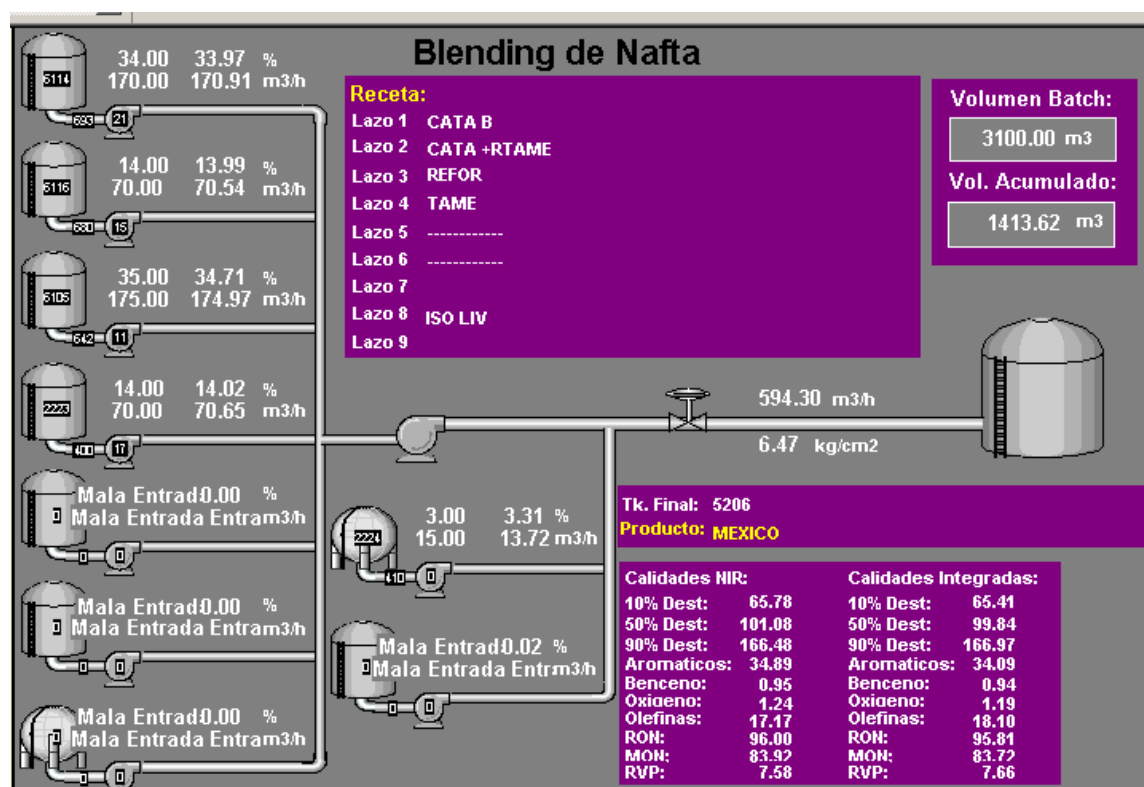
Desarrollo

Habitualmente, la monitorización de las operaciones de blending se efectúa a partir de controles puntuales durante la elaboración del batch mediante datos de laboratorio. Como la variabilidad de la calidad de las corrientes aportantes afecta la calidad de despacho, resulta necesario disponer de herramientas que permitan anticipar deterioros en la calidad de las mismas.

La modalidad de seguimiento del batch en modo off-line incrementa la necesidad de correcciones de la fórmula, requiriendo mayor consumo de componentes más valiosos, tiempo en paradas y costos asociados.

Este método de operación puede optimizarse mediante la implantación de analizadores continuos capaces de proveer gran cantidad de parámetros de calidad del producto en elaboración en forma simultánea e instantánea (RON, MON, TVR, Aromáticos, Olefinas, Benceno, Oxigenados, etc).

3- Visualización en pantalla de valores instantáneos de propiedades de calidad medidas mediante análisis continuo

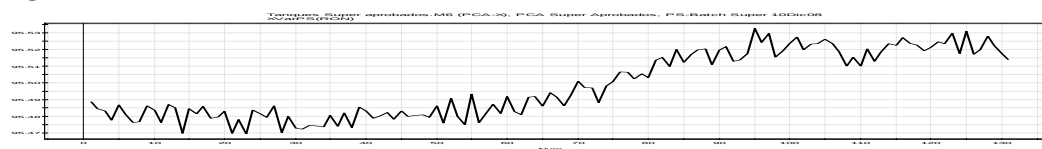


Monitoreo del Batch – Método Univariante:

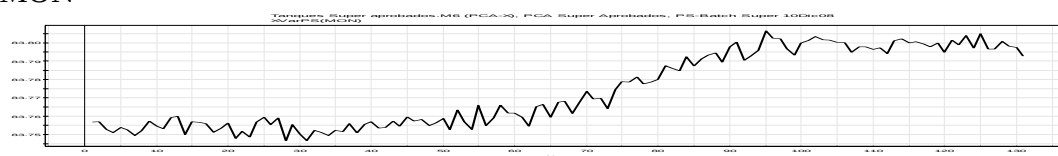
Cuando se requiere hacer el seguimiento en línea de un alto número de variables como en este caso, 10 parámetros de calidad; resulta muy dificultoso identificar rápidamente a la o las variables responsables de la salida de control, mediante gráficos univariantes, de series temporales de cada parámetro.

4- Gráficos de control univariantes

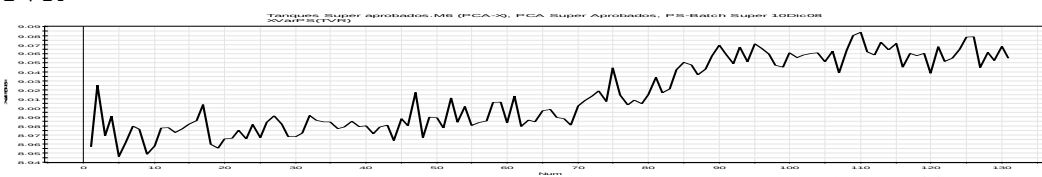
RON



MON



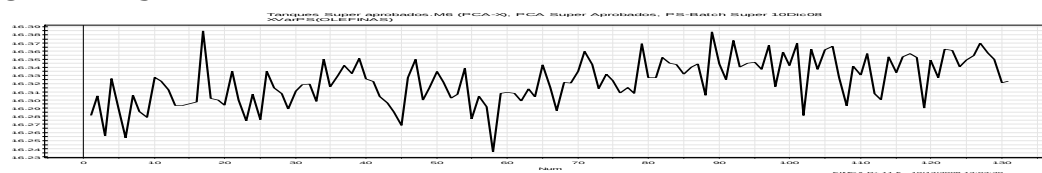
TVR



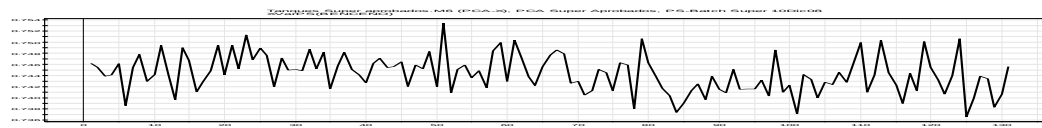
AROMATICOS



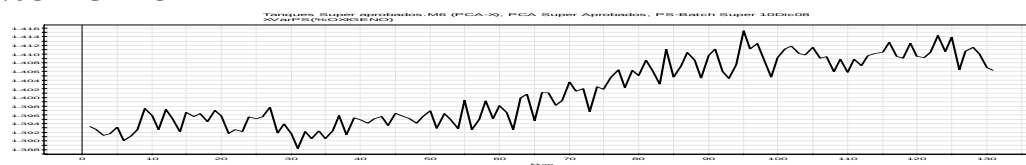
OLEFINAS



BENCENO



%OXIGENO



Monitoreo del Batch – Control Estadístico de Procesos Multivariante

Para esta aplicación se construyó un modelo de “gasolinas de calidad deseada” mediante componentes principales (PCA) a partir de datos históricos de 10 variables de calidad medidas en muestras de gasolinas en especificación.

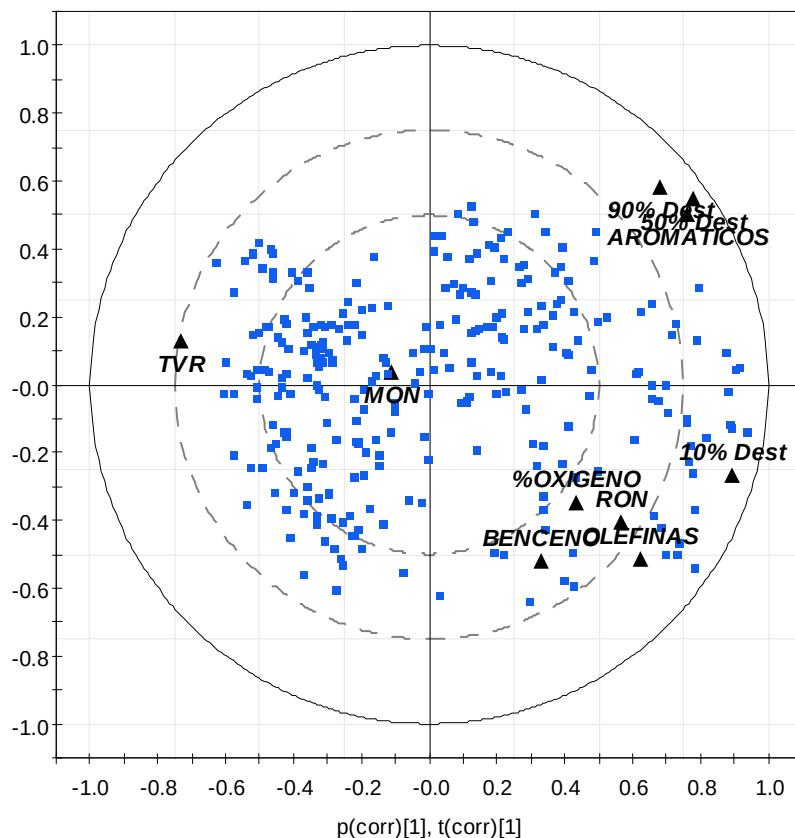
Matriz $n \times m$:

- Observaciones (n): 327 Tanques de Gasolina de Calidad Súper en especificación
- Variables (m): 10 parámetros de calidad (RON; MON; TVR; 10%, 50% y 90% de Recuperado; de Aromáticos, Olefinas, Benceno y % Oxígeno).

Process Understanding:

Usando los datos históricos se pueden estudiar las correlaciones de variables y profundizar la comprensión del proceso, por ejemplo las variables espacialmente cercanas poseen una correlación positiva y las variables en cuadrantes opuestos (TVR y 10 %) poseen una correlación negativa en el set de datos utilizado.

4- Representación de muestras y variables de calidad

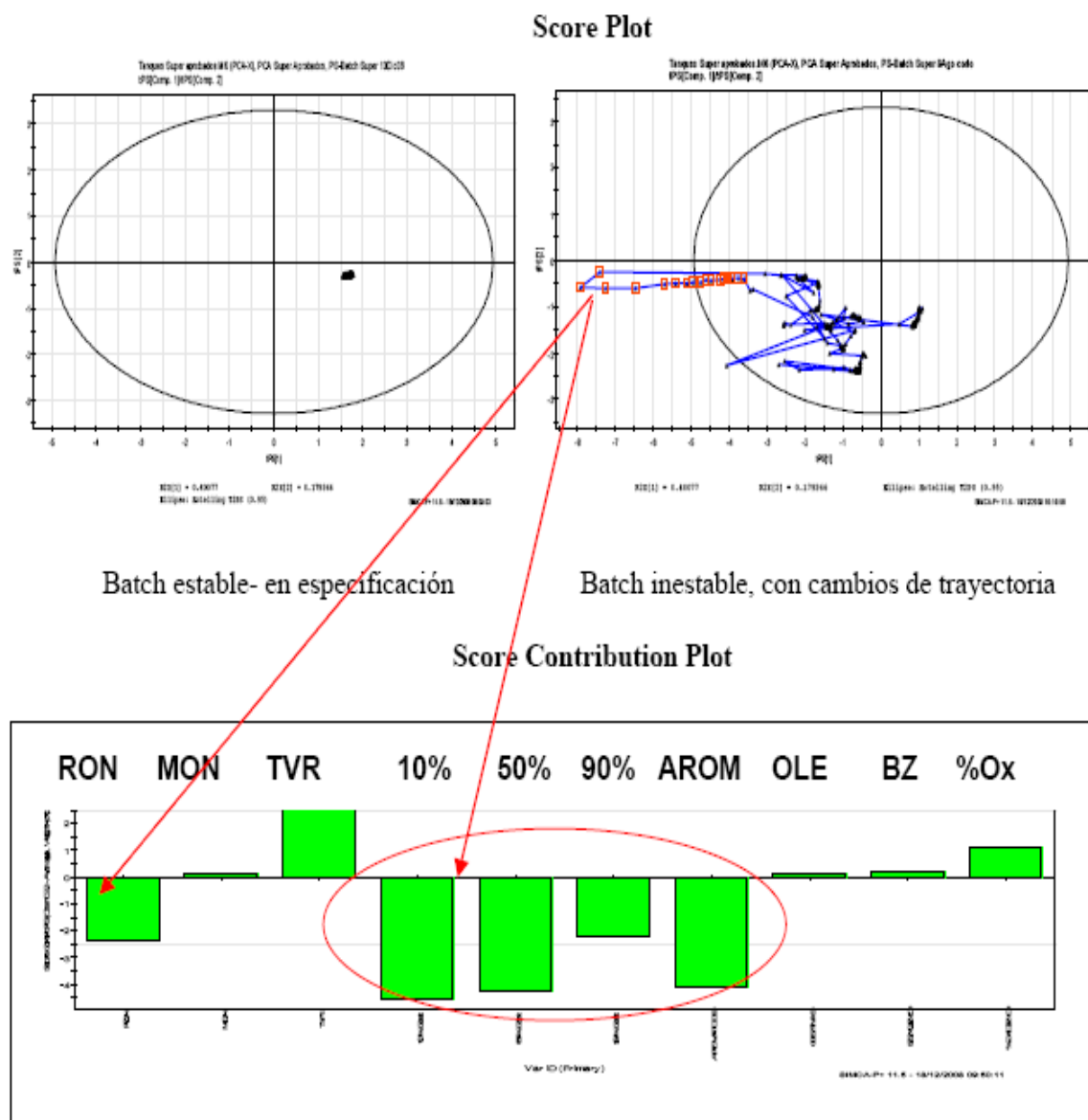


Para el monitoreo del proceso, las técnicas multivariantes poseen representaciones gráficas que permiten visualizar fácilmente si el proceso es estable y se encuentra dentro de los límites de control del proceso y anticipar una salida de control.

Score Plot: es un resumen de la relación entre muestras u observaciones, es la proyección de las observaciones en un plano y las muestras que tienen un comportamiento extremo (muestras anómalas u outliers fuertes) se observarán fuera de la elipse. En esta aplicación de Modelo PCA, construido con muestras de Tanques Súper, los puntos fuera de la elipse corresponderán a muestra fuera de especificación (las muestras están fuera del 95% del límite de tolerancia).

Score Contribution Plot: permite conocer qué variables originales contribuyen a explicar una observación anómala revelando su magnitud (correlación grande o pequeña) y su sentido (correlación positiva o negativa).

6- Modelo PCA de Tanques de Calidad Súper



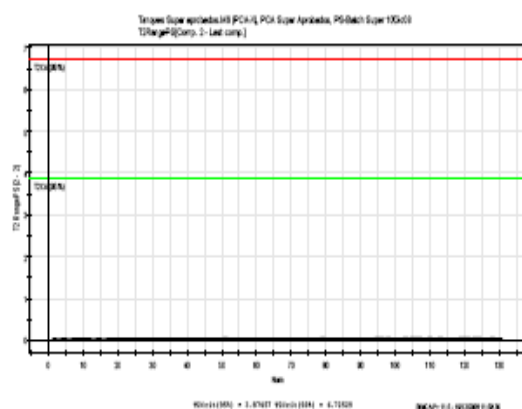
Cartas de Control Multivariante:

Carta *T2 Range*: esta carta de control permite visualizar observaciones que mantienen la estructura de correlación de las variables, pero adquieren valores extremos, también llamados outliers fuertes. En nuestro caso se visualizan las variables de calidad de la gasolina.

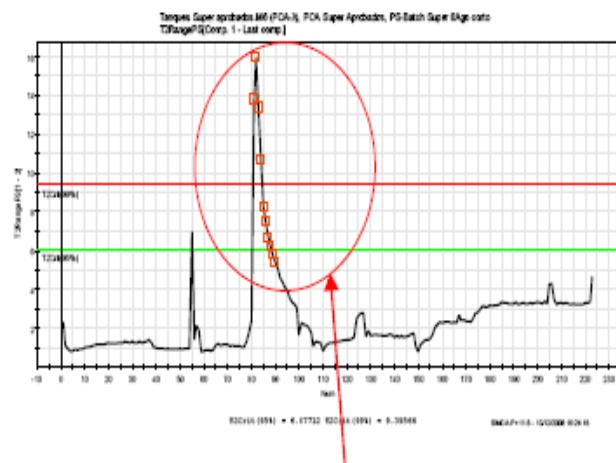
Carta *Dmodx* - Distancia al modelo: detecta outliers anómalos que son observaciones que rompen la estructura de correlación entre las variables. En datos de proceso en general corresponden a arranques de operación o puesta en marcha de procesos o un cambio en el comportamiento del proceso. En nuestro caso reflejan un cambio en la relación de las variables de calidad por ejemplo por un cambio de calidad de una corriente aportante al batch.

7- Cartas de Control Multivariable - Tanques de Calidad Súper

Carta T2 Range

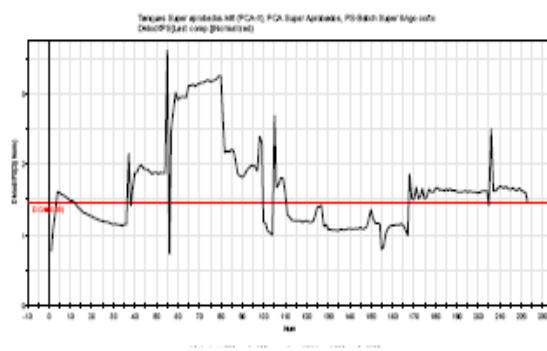
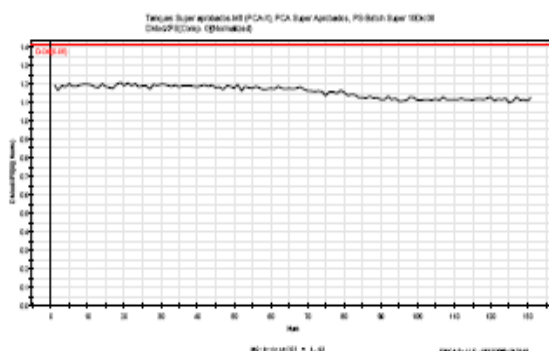


Batch estable- en especificación



Batch inestable, hay valores extremos
Los cambios de trayectoria se visualizan antes de la salida de control

Carta Dmodx



Batch inestable, con cambios en las relaciones entre las variables de calidad

Conclusiones

La implementación de esta herramienta potencia el uso de los sistemas on-line y off-line disponibles aportando:

- fácil visualización de cambios leves en la calidad del batch
- identificación del parámetro de calidad responsable del deterioro de la calidad de despacho
- optimización del uso de las corrientes base
- minimización de ajustes de la receta y la sobre-calidad de los productos finales
- reducción de los tiempos de espera en las operaciones de blending.

Este marco proveerá a los responsables, analistas y operativos, de los procesos, de una metodología simplificada, pero probada para lograr y mantener el estado de control de los procesos, con menor esfuerzo y sin necesidad de conocer los detalles teóricos de la estadística aplicada. Las herramientas automatizadas para analizar los datos, generan resultados que se visualizan gráficamente, permitiendo una rápida interpretación y señales inequívocas para la toma de decisión con respecto al funcionamiento de la instalación, facilitando la identificación de oportunidades de mejora de los procesos.

Bibliografía

1. ***Application of Data Mining Techniques for Industrial Process Optimization***
Radu Platon & Mouloud Amazouz
CANMET Energy Technology Centre - Natural Resources Canada - July 2007
2. ***Monitoring a complex refining process using multivariate statistics***
Ashraf AlGhazzawia and Barry Lennox,
Control Engineering Practice, Volume 16, Issue 3, March 2008, Pages 294-307
3. ***Statistical data analysis of a chemical plant***
A. Santen 1, G.L.M. Koot 2 and L.C. Zullo 3
1 SHELL International Oil Products Amsterdam, The Netherlands.
Computers chem. Engng, Vol. 21, Suppl., pp. S1123-S1129, 1997
4. ***Finding the Needle in the Haystack - an Innovative Means of Visualizing Control Performance Problems***
Warren Mitchell P.Eng, David Shook P.Eng, PhD,
Matrikon Inc.
5. ***Multivariate Process Monitoring and Early Fault Detection (MSPC) using PCA and PLS***
Seongkyu Yoon, Nouna Kettaneh, Kinnelon, NJ, Jason Landry, William Pepe, S. Wold
Umetrics Inc., Plant Automation and Decision Support Conference September 21-24, 2003
6. ***Multivariate Statistical Process Monitoring and Control: Recent Developments and Applications to Chemical Industry***
Liang Jung, Quian Jixin
Chinese J. Chem. Eng, 11 (2) 191-203 (2003)
7. ***Neural networks for the optimization of crude oil blending***
Wen You; América Morales
International Journal of Neural Systems Vol 15, N° 5 (2005) 377-389

Laura G. Markiewicz. Es Licenciada en Ciencias Químicas, graduada en la Universidad de Buenos Aires, completó un postgrado en Gestión Ambiental en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). Integró el staff del Laboratorio de Medio Ambiente e Higiene y Seguridad de la Refinería La Plata, posteriormente se incorporó al laboratorio de Técnicas Separativas del centro tecnológico de YPF en Ensenada. Actualmente forma parte del Area de Tecnologías de Control y Quimiometría donde participa en proyectos de Sistemas de control avanzado previstos para las operaciones de blending de naftas mediante (NIR) y en desarrollo de aplicaciones en quimiometría analítica y de procesos.

lmarkiewicz@ypf.com

Héctor R. Menez. Es Consultor de Tecnología en la Unidad de Tecnología de YPF. Se graduó en Ciencias Químicas en la Universidad de Córdoba y obtuvo un post-grado en Refinación de Petróleo en la UBA. Ha desarrollado la mayor parte de su carrera profesional en YPF. Actualmente desarrolla su actividad en el centro tecnológico de Ensenada, CTA. Sus principales áreas de interés actuales son la tecnología NIR y sus aplicaciones en análisis y optimización de proceso, estadística multivariable y quimiometría. Es instructor interno en estadística aplicada al control de procesos y calidad en laboratorios, y consultor en temas de analítica y medio ambiente.

hmenezv@ypf.com

Carlos A. Lago. Es Consultor de Tecnología en la Dirección de Tecnología de YPF. Se graduó en Ingeniería Química en la UTN – FRLP y posteriormente en Ingeniería en Petróleo, con especialización en Industrialización, en la UBA. Desarrolló toda su carrera profesional en YPF, siempre en el sector de Investigación y Desarrollo, específicamente en el área de Control de Procesos. Sus principales líneas de trabajo están relacionadas con el Control Multivariable Predictivo y con la selección y evaluación de Tecnologías aplicadas al control y a la optimización de procesos. Desarrolló durante más de 20 años actividad docente en la cátedra de Control e Instrumentación en la UTN – FRLP y es instructor interno en Control de Procesos.

clago@ypf.com