

# AHORRO ENERGÉTICO A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA MÁS AVANZADA EN CONTROL DE PROCESO

**<sup>(1)</sup> Alvaro Remolar Vaquer, <sup>(2)</sup> Javier Araujo, <sup>(2)</sup> Rita Otero**

<sup>(1)</sup> Ingeniero Industrial Colegiado 645 de Castellón, anteriormente Jefe de Control Avanzado de la Refinería BP de Castellón.

<sup>(2)</sup> Soporte Técnico Honeywell España

## SINOPSIS

Se propone un modelo tecnológico para obtener una reducción de costes energéticos y que a su vez derive en una mejora de la gestión de la producción. En efecto, las circunstancias actuales de crisis que afectan a los sectores de cerámica y fritas debido al aumento progresivo de los costes energéticos y las dificultades de inversión son similares a lo ocurrido en otros sectores como Refino, Papel, etc., que atravesaron anteriormente por las mismas circunstancias y en dónde esos modelos ya han sido implementados con éxito.

Este modelo consiste en programas de mejoras en el control del proceso, instrumentación y software que mejoran la eficiencia del proceso productivo y además que son capaces de adaptarse a cambios sustanciales del entorno.

Es pues muy **novedoso** proponer este tipo de esquemas de control y gestión de la producción en estos sectores; ya que, hasta ahora la evolución tecnológica ha consistido en pasar de una instrumentación analógica a una digital con PLC's que albergan a los lazos de control para que controlen las variables de forma **individual**. El modelo propuesto implica un salto cualitativo muy importante dónde los esquemas de control están interrelacionados y permiten ligarlos con objetivos económicos y de coste.

**La diferenciación** respecto a otras propuestas de mejoras energéticas, auditorías, etc., es que no es una monitorización, un cálculo de índices, siempre a posteriori; sino que son **herramientas en vivo** que controlan el proceso siguiendo directrices energéticas y respetando las variables operativas fijadas en planificación y limitaciones en el equipo.

**Como valor añadido**, una vez funcionado esta base tecnológica de control que primariamente se dedique al ahorro energético se puede extender a multitud de oportunidades magníficamente expresadas en la ponencia de Jose Gustavo Mallo Gasch "Automatización en la Industria Cerámica, Evolución y Perspectivas. "Qualicer 2006"

Con este tipo de tecnología se han conseguido unos niveles de ahorro en los sectores dónde ya están implementadas, Refino, Papel, Acerías, entre el **3 al 8 % del consumo energético inicial**, llegando en algunos casos a valores superiores **al 10 %**, dependiendo de la situación de partida y todo ello con una **inversión baja**.

Creemos que tales valores son alcanzables en los sectores de cerámica y fritas que nos ocupan. Cifras aportadas por un caso real de fabricación de fritas, a título de ejemplo, puede significar en términos económicos que para un consumo del orden de **350000 MWh/año**, se pueden ahorrar cantidades superiores a **300,000 € /año**, valores aplicables a un tamaño de empresa media-alta.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales y especialmente en este sector de cerámica y fritas coinciden dos factores que son:

- Encarecimiento progresivo de los costes energéticos.
- Dificultades de inversión derivadas de la falta de financiación.

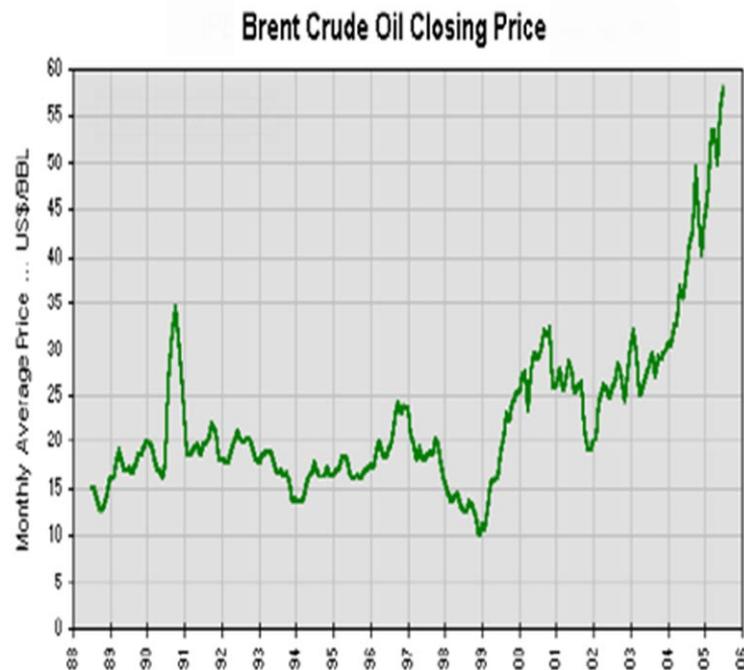
Es por ello, que es especialmente adecuado aplicar una tecnología avanzada que permita una reducción de costes energéticos con una inversión moderada. Por otro lado, en el entorno económico actual, nuevos modelos de contratación emergentes hacen posible la definición de acuerdos marcos en los que propiedad y proveedor tecnológico pueden definir entornos colaborativos en los que compartir los beneficios derivados de la implantación de la solución de eficiencia energética. Así pues, es posible que un socio tecnológico se implique en estos proyectos y la inversión que es moderada se convierta en mínima para el sector pues se puede financiar en parte o totalmente en base de los incentivos demostrados obtenidos con la realización del Proyecto.

La implementación de esta tecnología y estos modelos ya se está realizando con éxito a nivel mundial en varios tipos de industrias tales como:

- Refino y Petroquímica.
- Papel.
- Acero.

En estas industrias de forma sucesiva se dieron circunstancias que propiciaron la introducción de tecnología avanzada como la mejor forma de ahorro en costes, fundamentalmente el energético y propiciando que se lograra como un valor añadido el obtenido por una mejora en los rendimientos así como una mejora en la gestión de producción.

Si observamos la evolución del precio del crudo Brent al cual van indexados la mayoría de los costes energéticos vemos una punta en el 91 y un marcado ascenso a partir del 2000, muy acusado desde el 2004. Es por ello que la decisión de introducir tecnología probada de Control Avanzado fue unánime y con resultados espectaculares. De hecho los retornos de la inversión eran y están siendo en muchos casos menores de un año. Además como se indica en el párrafo anterior permitió que estas empresas organizaran los procesos de producción de forma más eficaz al disponer de datos en vivo de variables de proceso y poder establecer consignas más reales en función de los valores instantáneos o medios en vez de programas y consignas fijas a intervalos semanales y/o mensuales. Se dio pues un salto cualitativo importante que ha permitido mejorar sus cuentas de resultados y en algunos casos sobrevivir ante situaciones muy difíciles por la que atravesaron.



El autor de la ponencia ha sido testigo y ha colaborado ampliamente en esta implantación, concretamente en la industria de Refino; dónde la incidencia de los costes energéticos a valor actual representa casi un 50 % sobre sus costes variables y hubieran alcanzado unos valores difícilmente abordables si no se hubieran tomado las medidas adecuadas entre ellas las de ahorro energético muchas de ellas basadas en la utilización de técnicas avanzadas de control.

### 1.1. Estrategia de Control

La mejora energética partía de unos bases, lo que se denominaba, "Energy Intensity Index" **EII**, cuyo primer paso era identificar los activos (equipos) de proceso cuyo comportamiento resulta ser mas intensivo desde el punto de vista energético, tanto a nivel de generación, consumo, intercambio de calor. De esta forma era factible comparar una planta con otra y a su vez evaluar el impacto que una mejora, modificación, nuevas unidades, etc. tenía en el el índice global de la planta.

En el estudio del proceso productivo dónde se identifican:

- **Los elementos consumidores de energía**, fundamentalmente en este sector, **hornos, turbinas, etc.** Aquí se localizan los mayores potenciales de ahorro debido a que normalmente coinciden con los mayores consumidores del proceso productivo.
- **Intercambiadores de energía, precalentamiento, recuperadores.** Al mejorar la toma de datos y la mayor complejidad del esquema de control se pueden incorporar estrategias de maximización en el aprovechamiento de calor, detección de ensuciamiento con recomendaciones de limpieza en fun-

ción de la rentabilidad. Incluir también, límites de carga debido a diferentes consideraciones incluidas las medioambientales.

- **De forma adicional referente a las estrategias de producción, control de cargas, inventarios, tiempos de residencia.** La posibilidad de enlazar los sistemas de información (Planificación de la Producción, Costes, etc.) con los sistemas de control nos ofrece poder alimentarlos a éstos directamente con las directrices de producción. Con ello, se puede lograr en muchos casos una optimización puede llegar a ser en tiempo real. Esto incluye, no solo las estrategias sino también de forma más directa los controles de las cargas a las diferentes unidades, inventarios y en algunos equipos, por ejemplo, hornos, el cálculo en línea de los inventarios.

Una vez identificados pues los consumidores mayores, en esta industria que son los **hornos de proceso en primer lugar**, las actuaciones de mejora energética se basaban en actuaciones de **alta inversión**, a saber,

- posibles mejoras a introducir como quemadores eficientes, limpiezas zonas de convección, etc.
- economizadores de vapor, precalentamiento de humos.

Y actuaciones que requerían **muy baja inversión** aprovechando la infraestructura de control avanzado y concretamente para los hornos se diseñaron e implementaron estrategias de control tales como:

- **Control de temperatura** de salida de los mismos combinando "feedback" de la desviación de su temperatura con un "feed-forward" (adelantamiento) ante las variaciones en la alimentación y en la composición del gas a quemar. Con este esquema se logran controlar con una reducción de la variabilidad en el entorno de 0,5 °C , frente a 1 / 2 °C ó más de un control clásico.
- **Control de exceso de Oxígeno.** Se combinan las lecturas de analizadores de oxígeno en la salida de los gases de combustión con los de CO, si se dispone de los mismos y se actúa sobre los "dampers" de las chimeneas en caso de tiro natural o bien sobre el aire de combustión en caso de tiro forzado. Con ello se logra operar en continuo dentro de los límites operativos establecidos.
- Además y dentro de los hornos se obtienen a través del esquema de control parámetros que contribuyen a operar dentro de los criterios establecidos por producción pero manteniendo dentro de una zona óptima de seguridad. A saber, se pueden conocer:
  - Perfiles de temperatura de tubos.
  - Temperaturas de la zona de choque entre la zona radiativa y convectiva.
  - Flujos de calor dentro del horno.
  - Calores quemados y cálculos de eficiencia a través del calor absorbido por el proceso.

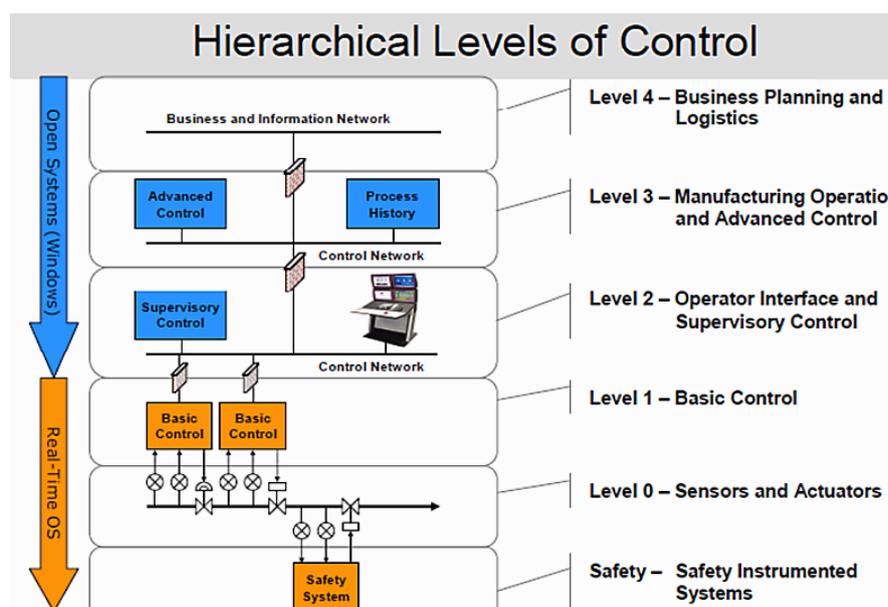
En otros consumidores dentro de este proceso de refino, la actuación de baja inversión también estaba basada en el diseño e implementación de aplicaciones de control avanzado. A saber,

- Minimización de la presión de operación de las torres de destilación por lo que la separación de hidrocarburos se produce con un menor consumo energético
- Maximización en el precalentamiento de la alimentación a torres y sobre todo a los hornos.
- Optimización de la alimentación a hornos derivando la máxima alimentación posible a los que poseen mayor eficiencia energética.

Estas estrategias y programas de mejoras en el control del proceso, instrumentación y software que fundamentalmente permitieron pasar de una industria de proceso continuo que controlaba variable a variable y solo en unos pocos casos una variable más importante posicionaba otra inferior ("cascada") a unos controles dónde intervenían, como se ha indicado, analizadores (de calidad y de gases), y dónde las variables se interrelacionaban (Control Multi-variable) para llegar a que los esquemas de control se movieran en base a parámetros económicos y de coste.

Escalón a escalón se fueron implementando estas mejoras que condujeron a una mejora de eficiencia del proceso productivo capaz de adaptarse a cambios sustanciales del entorno. La experiencia es perfectamente extrapolable al sector de cerámica y esmaltes y ésta es la pretensión del autor.

En la figura se puede ver los niveles alcanzables partiendo de los actuales representados como 0, 1 y 2.



Esta tecnología permite operar los procesos productivos con las siguientes características:

- Mantenerlos dentro de unos límites de operación y/o medioambientales.
- Maximización de las alimentaciones y rendimientos.
- Minimización del consumo de energía y auxiliares.
- Protección del equipo y personal frente a cambios en las condiciones del proceso.

El esquema jerárquico que utiliza se simboliza en la siguiente figura:



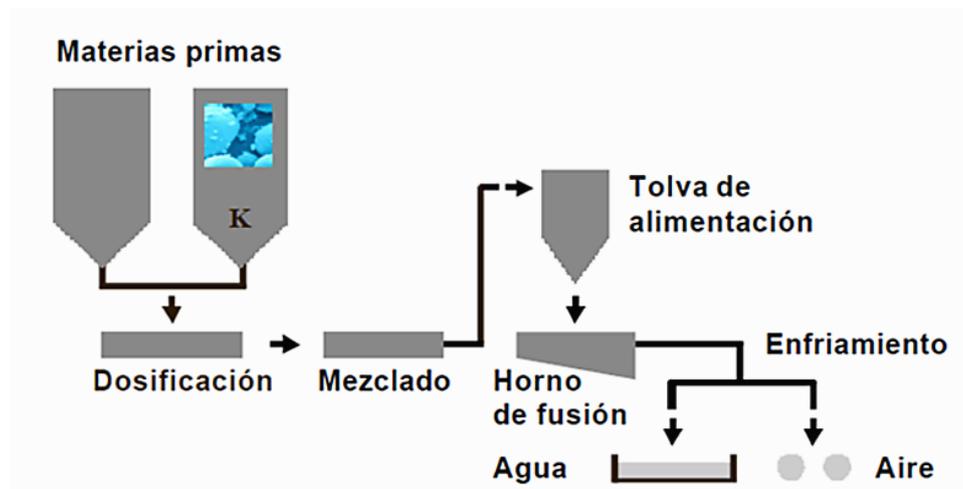
Es decir, el proceso se controla con lazos tradicionales, fundamentalmente PID's que operan a intervalos de segundos. Algunos elementos en cascada y con modificaciones de avance ante cambios "feedforward" se mueven en intervalos de tiempo ligeramente mayores formando parte del Control Avanzado Tradicional. Por encima de ellos se establece el Control Multivariable en donde se combinan datos de sensores y analizadores y se establecen consignas de optimización local. Estos controles actúan en intervalos de minutos.

Con la implementación de este tipo de tecnología se han conseguido unos niveles de ahorro en estas industrias que varían entre el **3 al 8 % del consumo energético inicial**, llegando en algunos casos a valores superiores **al 10 %**, dependiendo de la situación de partida. Por otra parte, esto se consigue como ya se ha dicho con una inversión baja si se compara con nuevas instalaciones y equipos ya que se trata de software, servidores que se añaden a los controles básicos (PID's) existentes en este tipo de industrias. El paquete más costoso puede ser analizadores continuos, oxígeno, CO, densidad, etc. pero también de menor cuantía si se comprara con nuevas instalaciones y equipos.

## 2. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA OPERACIÓN DE FRITAS Y BALDOSAS

### 2.1. Fritas

Como se sabe, el proceso de fabricación de fritas, comúnmente llamado fritado, tiene como objetivo la obtención de un material vítreo insoluble en agua, mediante fusión y posterior enfriamiento de mezclas diferentes materiales, se esquematiza en la siguiente figura,



El proceso pues comienza con una dosificación de las materias primas, previamente seleccionadas y controladas, en la proporción establecida. Mediante transporte neumático se trasladan a una mezcladora y desde allí se alimentan a los hornos de fusión donde tiene lugar el fritado propiamente dicho.

En la fabricación de un tipo determinado de fritas, se mantiene en el horno considerado a una temperatura en el entorno de 1400°C. El tiempo de permanencia del material en el interior del horno viene definido por la velocidad de fusión de las materias primas y por la fluidez del material fundido.

El horno dispone de quemadores alimentados con gas natural, utilizándose como comburente aire y en la salida de los gases de combustión se instala un recuperador de calor que aguas abajo dispone de un filtro de mangas para el filtrado de los gases de salida a la atmósfera. Actualmente, el control tipo consiste en la regulación de la presión a la salida de la chimenea y un control de la temperatura del horno mediante un lazo cerrado con el aporte de combustible.

Con un análisis somero del proceso siguiendo criterios parecidos a los mencionados en la industria del Refino, veríamos que las variables a controlar en el proceso de fritado serían entre otras,

- La Temperatura interior del Horno.
- Porcentaje de oxígeno.
- Temperatura alimentación al filtro de mangas.

- Carga del horno.
- Inventario del horno.
- Valores máximos de emisión NOx y CO.

Por ello, la tecnología de control avanzado es perfectamente aplicable y nos llevaría a diseñar parecidos esquemas, naturalmente adoptados a este proceso que es diferente en algunas cosas al de refino. No obstante aquí se reproduce que los elementos mayores consumidores de energía son **la batería de hornos de fusión** éstos son pues los principales candidatos. Estos esquemas propuestos serían los siguientes:

- Mantener el control de temperatura de la cámara en "feedback" pero combinado con un "feed-forward" (adelantamiento) ante las variaciones en la alimentación y con la potencia calorífica del gas, si se dispone de su medida. Con este esquema es de esperar una reducción significativa de la variabilidad de la temperatura del mismo; lo que afecta no solo al consumo sino a la calidad del producto.
- Control de exceso de Oxígeno. Al esquema clásico de lazo oxígeno en salida sobre variable manipulada de aire de combustión se le pueden agregar limitaciones de calor quemado, tiro de la cámara, etc. que permitan.
  - Operar en continuo a un exceso de aire constante y no sometido a variaciones de carga, influencia día y noche, etc.
  - Debido al control de otras variables y a la menor variabilidad esperada se pueden establecer consignas de valores inferiores a los que se permiten con un esquema sencillo de control.
- Los procesos transitorios de cambio de composición en la alimentación ante un cambio de producto ofrecen también muchas posibilidades de optimización para reducir los periodos de los mismos tanto en la parte de puesta en marcha como en la de finalización de la fabricación de un producto. Esto repercutiría de forma significativa no solo en el consumo energético sino también en una disminución de costes de fabricación.
- La eficiencia del horno de fritas se ve afectada por el grado de eficiencia de los economizadores instalados. El sistema de control y de monitorización en un esquema como el propuesto permitiría de forma continua la monitorización de su eficiencia, coeficiente de intercambio, dando "on-line" una recomendación de limpieza y en su caso el desvío de alimentación a un horno más eficiente.
- El inventario en el horno ("hold-up") parece ser otra variable significativa que con los elementos de control y monitorización es posible disponer en línea frente a extrapolaciones o medidas indirectas. Igualmente esto repercute sobre el consumo energético pero también en la optimización de la fabricación.

- Según tipos y capacidades, la fabricación de estos procesos requiere un número determinado de hornos en el entorno de 10 a 20, a los que se alimentan las diferentes mezclas de materias primas. Es significativo pues la potencia que puede tener la optimización de la alimentación a hornos derivando la máxima alimentación posible a los que poseen mayor eficiencia energética que se puede conocer de forma "on-line".

Así pues, con estas propuestas de esquemas de control y de optimización se puede deducir que los ahorros a conseguir en el consumo energético son significativos y que además pueden tener un efecto muy significativo en la optimización del proceso de fabricación cuyo orden de magnitud en la disminución de costes tenga un efecto mucho mayor.

Para una empresa media de fritas con un consumo alrededor de **350000 MWh/año**, de forma conservadora podemos estimar un ahorro del orden del 3 al 5 %, para consumos energéticos fundamentalmente en hornos, se estima un ahorro de **300,000 € /año**.

Si a esto añadimos las aplicaciones de optimización energética,

- Reducción periodos transitorios.
- Inventarios.
- Alimentación en función de la eficiencia.
- Alimentación en función de limitaciones de equipo y de contaminación.

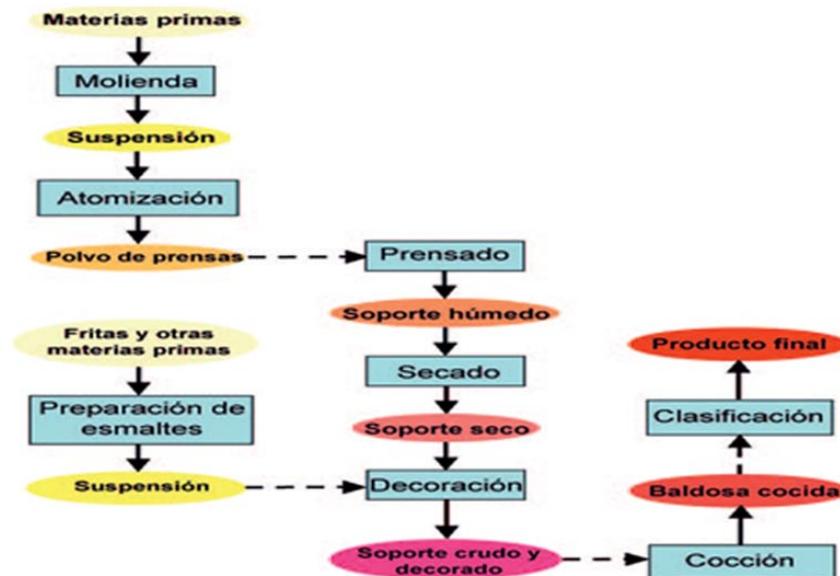
la cifra aumentaría de forma significativa.

Esto sin considerar el valor añadido que puede aportar a la optimización del proceso dando una información en tiempo real y aplicando criterios económicos y de limitaciones de equipo de forma continúa.

Si finalmente, queremos extrapolar queda un campo de optimización de materias primas dónde creemos que también se pueden aplicar tecnología en Refino sobre la selección de crudos y fabricación de mezclas. Como es conocido, las refinerías procesan mezclas adecuadas de crudos en función de disponibilidad y del coste dónde hay variaciones muy significativas. Así mismo, la fabricación de productos, fundamentalmente gasolinas se basan en una optimización de mezclas de productos que cumplen unas especificaciones pero que se mezclan con criterios de mínimo coste o de máximo beneficio.

## 2.2. Baldosas

Fijándonos ahora en el proceso de fabricación de **baldosas cerámicas**, cuyas principales etapas en el esquema que se adjunta



A diferencia del anterior, tiene más etapas que se interrelacionan cuya influencia unas sobre las otras es indudable afectando a la calidad final del producto a vender. No obstante, existen elementos comunes que son los consumidores masivos de energía, uno de los principales componentes de los costes variables de fabricación. **Cocción y Secado** son pues unos buenos candidatos a esta optimización energética y de fabricación.

Sin un análisis tan pormenorizado como en la fabricación de fritas, hornos y secadores son susceptibles de aplicarles esquemas de control parecidos a los indicados en el apartado anterior.

Además, en este tipo de fabricación, que tiene una mayor complejidad que en el proceso anterior; ofrece oportunidades adicionales ya que, como se ha mencionado:

- Hay muchas interrelaciones entre las variables a controlar y es dónde la aplicación del control por modelos y multivariable son especialmente adecuados.
- Hay propiedades cuyo análisis en continuo es difícil y son esenciales para la calidad. El desarrollo de modelos inferenciales ayudaría para mejor control y disminución de costes.

Así pues, sin un análisis tan detallado, la fabricación de baldosas también es un buen candidato para aplicar la tecnología probada en Refino que puede permitir operar la planta dentro de las limitaciones físicas del equipo y las exigencias de calidad de forma continua con el consiguiente mejora en la calidad y en la disminución de costes, entre ellos los energéticos.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES

Común a ambos procesos se requiere un análisis previo de:

- El sistema de control instalado, PLC's, Redes de Control, etc.
- Sensores y analizadores instalados.
- Metodología de adquisición de datos de proceso en vivo e históricos.

A partir de esta infraestructura, la solución técnica esta basada en la aplicación de tecnología avanzada de control se realiza en las siguientes etapas:

- Estudio, mejora y sintonización de lazos básicos (PID's) fundamentalmente. La infraestructura básica de lazos (PID's) es normalmente mejorable lo que redundará en una estabilidad, evitar excursiones, adaptación rápida a cambios, etc
- Análisis del proceso concentrándose en las áreas de mejora, ya mencionadas y la disponibilidad de analizadores, sensores, modelos inferenciales, si es requerido.
- Aplicación del Control Multivariable.
- Conectividad, almacenamiento e historización de datos de proceso.
- Si procede, aplicaciones de segundo nivel basadas en algoritmos económicos.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Multivariable Control: An introduction. Dr. M.J. Willis. Department of Chemical and Process Engineering University of Newcastle upon Tyne, 1998 y 1999
- [2] Dynamic Matrix Control: An optimal multivariable control algorithm with constraints. Cutler, CR. Science and Engineering
- [3] Multivariable Process Control. Deshpande, P.B. ISA 1989