

Control de procesos y caracterización de situaciones industriales por métodos globalizantes.

Industrial process control and characterization by globalizing methods

G. Alcuri¹

Recibido: Junio 2013

Aprobado: Agosto 2013

Resumen.- Describimos en este resumen elementos de base y casos de aplicación de un concepto original de control de procesos industriales y caracterización de materias complejas. Esta idea de « control globalizante » se presenta como una alternativa o un complemento de los métodos tradicionales definidos por la adquisición puntual de múltiples parámetros y por la yuxtaposición de los resultados parciales. Por otra parte es usual en este dominio la búsqueda de una comprensión fundamental de las situaciones fisicoquímicas, incluso por intermedio de modelizaciones numéricas. Dada la complejidad de ciertos medios industriales que dificulta grandemente o imposibilita el conocimiento estricto de la situación fisicoquímica decidimos, en esta forma de aproximación pragmática, renunciar a este objetivo final para llegar a medios de control eficaces por caminos indirectos.

Palabras claves: Control de procesos; caracterización de medios complejos; instrumentación específico; tratamiento avanzado de la información.

Summary.- We describe in this summary basic elements and applications of a concept of industrial process control and characterization of complex materials. This idea of "globalizing control" is presented as an alternative or complement to traditional methods that are defined by the acquisition of multiple individual parameters and the juxtaposition of partial results. Moreover it is usual to search for a fundamental understanding of the physicochemical conditions, even through numerical modeling. Given the complexity of some industrial materials, in our method, we decided to give up this ultimate goal, to get effective control by means of indirect ways.

Keywords: Process control; complex material characterization; specific instrumentation; data mining.

1. Introducción.- Ciertos procesos industriales particularmente en los sectores de la química, las aplicaciones de la química de especialidades y la agroindustria presentan objetivos de producción perfectamente uniformizados, inclusive normalizados, pero que parten de componentes de estructura y composición variables. Estos procesos complejos son frecuentemente regulados empíricamente.

Vamos a citar algunos ejemplos representativos en sectores industriales que integran componentes de origen biológico que presentan comportamientos fisicoquímicos difícilmente accesibles a través de modelos polinomiales o simulaciones numéricas y difícilmente caracterizables usando procedimientos metrológicos propios al mundo industrial. En muchas ocasiones, las medidas necesarias al control y al pilotaje de procesos de transformación obedecen preferentemente a una decisión “por defecto” que a una posición científicamente justificada. En

¹ ALCTRA Recherche & Développement, Montreuil - France

resumen, muchas veces medimos “lo que podemos donde podemos” en lugar de lo que debemos, en puntos racionalmente representativos. Estas situaciones fueron encontradas en particular en la transformación de elastómeros, en la preparación de productos alimentarios y hasta en la industria del petróleo y petroquímica.

En el primer caso (elastómeros) los productos resultantes, presentando diferentes grados de criticidad en términos de comportamiento físico y calidad final, están muy presentes en el automóvil, la aeronáutica y la industria del transporte. Los productos toman la forma de sistemas de amortiguamiento mecánico, piezas de estanqueidad u órganos de transmisión. Sabemos además que el funcionamiento y la seguridad de grandes equipamientos son dependientes de la calidad intrínseca, de la forma de envejecimiento y de la reacción a las diferentes sollicitaciones externas de esas piezas claves. Recordamos que grandes catástrofes de la actividad espacial tuvieron su origen en el disfuncionamiento de “simples” juntas toroidales. La materia constitutiva de ese tipo de producto presenta un comportamiento fuertemente no lineal, donde la naturaleza y la definición de las no-linealidades son generalmente inaccesibles. La materia de origen es el resultado de mezclas de un gran número de ingredientes que son responsables de funciones complejas y de comportamientos particulares durante los procesos de transformación: fragmentación, extrusión, moldeado, vulcanización. Grandes modificaciones globales de la materia se registran en el pasaje de un estado amorfo a un sistema elástico y a nivel de transformaciones reo lógicas en función de la temperatura y la presión. Es evidente que en el proceso de fabricación los problemas se acumulan para el industrial en su objetivo de control, supervisión y garantía de calidad.

En el sector agroindustrial el producto final que puede ser natural seleccionado, básicamente industrializado o preparado, debe obedecer a una evaluación dependiente de la reacción perceptiva del consumidor. Es así que la calidad de un producto puede estar definida por “la firmeza”, “la untuosidad”, “la textura”, “el carácter crocante”. La dificultad reside en resumir en algunos parámetros accesibles e industrialmente significativos ese tipo de propiedad compleja y sin definición normalizada.

En la industria petrolera nos encontramos frente a equipamientos de dimensiones muy considerables que deben generar productos perfectamente normalizados a partir de una materia prima cambiante, groseramente controlada y de composición cada vez más aleatoria. El manejo de esos enormes medios de producción exige el conocimiento en tiempo real de las condiciones de funcionamiento y de los resultados de regulación de procesos críticos. En base a qué parámetros, medidos donde....?

En una lógica y necesaria orientación de racionalización de esas situaciones industriales, el conocimiento profundo de las estructuras de base y las modificaciones aportadas por el proceso no son siempre razonablemente accesibles. En esas circunstancias puede ser indicado renunciar al conocimiento de las pautas fisicoquímicas de la materia y sus transformaciones y conformarse con una aproximación pragmática que permite la obtención de los objetivos finales, dentro de un mecanismo sólido y riguroso desde el punto de vista metodológico.

Esta búsqueda de relaciones de causa a efecto significativas en un proceso cerrado, que no pueden comprenderse en una expresión analítica general, constituye la base de nuestro concepto de “control y caracterización globalizantes”. El concepto exige, sin embargo, fundamentos científicos estrictos y una aplicación metodológica rigurosa, para representar una intersección pertinente entre los modelos analíticos y numéricos y los criterios empíricos – experimentales. Se encaran entonces los puntos clave del camino que llamamos “caracterización globalizante” tratando los fundamentos del concepto y ejemplos de aplicación en la obtención de imágenes de propiedades pertinentes a través de la medida de parámetros indirectos. Esta compilación

terminará con la presentación de técnicas de tratamiento evolucionado de la información para el manejo de los datos recabados por la instrumentación específica.

2. Los fundamentos.- En nuestra óptica de percepción global, la caracterización y el control de materias, estructuras y procesos complejos y variables, debe apoyarse sobre conocimientos universales y científicamente robustos. Buscamos entonces dentro de la gama de recursos conceptuales, experimentales e instrumentales, los medios para responder a nuestros objetivos prácticos, entre ellos:

- La información derivada de fenómenos de interacción ondas / materia.
- La información indirecta proporcionada por instrumentos clásicos.
- Los métodos de Data Mining avanzados (análisis de correspondencias, redes neuronales, estadísticas avanzadas...)
- La fusión multi captor.

En el campo instrumental, la adaptación de principios conocidos a las situaciones específicas es generador de iniciativas originales que pueden desembocar sobre realizaciones prácticas susceptibles de entrar en un proceso de protección industrial, llevando al establecimiento de patentes y exclusividades de explotación. Este corolario de la aplicación de los métodos señalados es una alternativa interesante a la imposibilidad real de patentar procedimientos que pueden ser fácilmente copiados a partir de los documentos descriptivos, sabiendo que muchos procesos optimizados no dejan trazas identificables en los productos comercializados.

No es el objetivo de esta presentación la descripción de los principios básicos del tratamiento avanzado de la información o de la interacción ondas / materia, vamos en cambio a presentar los criterios fundamentales de aplicación en el marco de ejemplos precisos. Siendo estos ejemplos casos reales de producción industrial, el detalle de nuestra descripción será limitado por las evidentes exigencias de confidencialidad.

En el marco de la orientación conceptual “interacción ondas / materia” el sector de ondas elásticas o ultrasonoro, o acústico en sentido general, presenta un interés particular en función de la capacidad de penetración en materiales diversos (sólidos, líquidos y bajo ciertas condiciones gaseosos), pudiendo ser éstos opacos, compuestos, conteniendo inclusiones o globalmente no homogéneos. Por otra parte, y dado el objetivo industrial de nuestro tema, valoramos la robustez estructural y tecnológica de los módulos que componen las realizaciones prácticas en este sector técnico como los transductores, unidades de adquisición y de tratamiento e inclusive los modos de incorporación mecánica de los dispositivos de control a las situaciones industriales.

Globalmente, si nuestra materia a caracterizar es considerada como un cuadripolo admitiendo la propagación de una señal dada, las transformaciones sufridas por esa señal contienen información sobre las características estructurales del medio considerado. Una imagen de la propia función de transferencia del cuadripolo puede entonces ser obtenida gracias a la extracción de la información contenida en la señal transformada. Esquemáticamente en figura I:

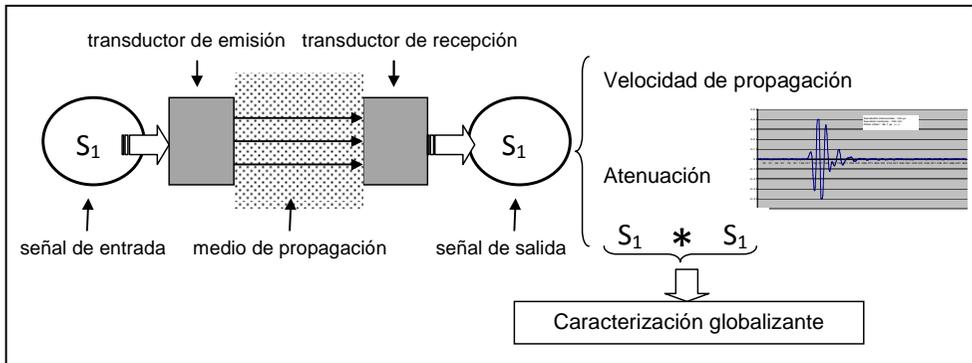


Figura I.- En un proceso propagativo, la transformación de la señal de entrada refleja propiedades fisicoquímicas del medio considerado.

Dos tipos fundamentales de información pueden obtenerse en la aplicación de los métodos descriptos:

Parámetros representativos de propiedades físicas universales (por ejemplo un tiempo de propagación que conduce al conocimiento de la velocidad de propagación)

Expresiones indirectas de un comportamiento complejo y analíticamente desconocido (por ejemplo características morfológicas de la señal resultante)...

Encontramos también casos intermediarios donde los valores de medida “tradicionales” permiten el seguimiento de situaciones caracterizables por otros medios de análisis, pero donde la relación física directa entre ellos es desconocida. La correlación entre la velocidad de propagación ultrasonora en elastómeros y el estado de vulcanización de la materia fue observada sin ambigüedad, aunque actualmente la explicación fisicoquímica de la relación es discutida. Sin embargo, la correlación probada indirectamente entre la velocidad de propagación y el estado de vulcanización, autoriza el control en línea y en continuo de un proceso del cual solo se conocía el resultado final, al fin de la línea de producción.

Sobre la base de este ejemplo de aplicación (el esquema de figura II resume el modo de trabajo) llegamos a la comprensión del significado conceptual y práctico de la idea general de “caracterización globalizante”.

El término de « caracterización globalizante » es el fruto de una reflexión conceptual dentro de un contexto industrial. Se pretende definir una forma de caracterización fisicoquímica de un medio en evolución dentro de un procedimiento industrial de transformación de ese mismo medio donde los parámetros de control no están directamente ligados a las propiedades buscadas. Esos datos provenientes de medidas intrusivas o no intrusivas reflejan indirectamente una situación (y su evolución temporal) que puede escaparse a una comprensión completa de los mecanismos funcionales, que es normalmente buscada por los responsables del proceso. Una vez que esa forma “global” de conocimiento es aceptada, los sistemas de regulación y control son empleados de la misma manera que son utilizados los parámetros directos en las operaciones de control y optimización de procesos de fabricación de productos o de transformación de materias industriales. El autor propuso ese término en el medio agroindustrial y de la química orgánica como forma de denominación generalizable de una orientación metodológica que no es siempre fácilmente aceptada por los servicios de control de procesos de grandes industriales. Hoy, el concepto es usado en el marco de proyectos europeos de investigación colaborativa y figura en

programas de desarrollo de industrias multinacionales en la forma inglesa “global characterization” y francesa “caractérisation globalisante”.

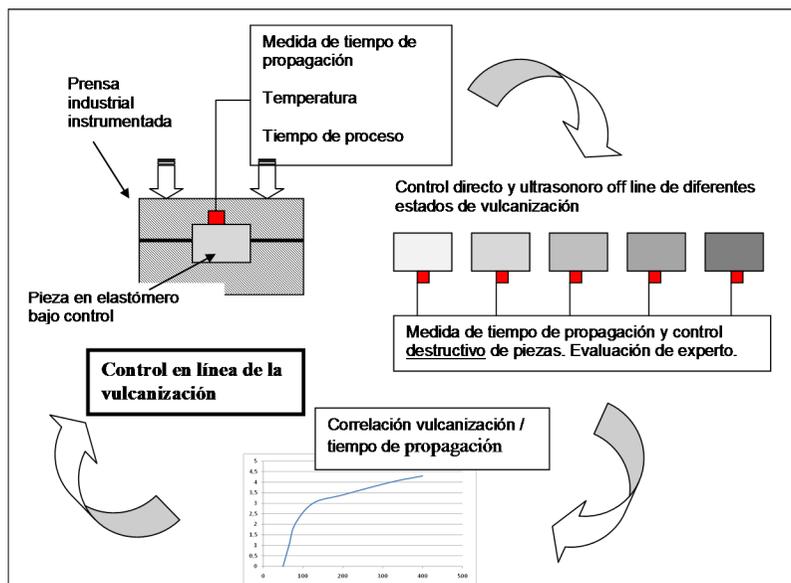


Figura II.- En el esquema se describe el conjunto de operaciones que conducen al control del estado de vulcanización a través de la medida de un parámetro en relación indirecta con la característica buscada.

Es oportuno recordar que, desde un punto de vista físico, la transmisión de una onda acústica, nos conduce al conocimiento experimental de un conjunto de factores de caracterización de la materia, estudiados y discutidos en una abundante bibliografía de compilación (J.P. Lefevre & all) [1]:

- Velocidad de ondas longitudinales
- Velocidad de ondas transversales
- Atenuación – identificación de fenómenos dispersivos
- Parámetros de elasticidad (E , λ , μ , ν , κ)
- Atenuación en función de la frecuencia
- Atenuación en función de la temperatura
- Velocidad en función de la temperatura
- Función de transferencia (H) del cuadripolo
- “Imagen” de la función de transferencia (en ausencia de la información de fase)

Bien que nuestra explicación está apoyada en una aproximación propagativa ultrasonora, la idea de base puede ser trasladada a otras formas de caracterización, por ejemplo óptica o por integración de parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, potencial redox, viscosidad, etc. La selección del camino más apropiado seguirá la intersección de campos de reflexión y de acción diferente y complementaria como el estado de la materia estudiada, el acceso a zonas o sectores críticos, la constante de tiempo en el análisis, la compatibilidad con el medio físico e industrial, los costos, etc.

Las situaciones industriales prácticas pueden conducirnos a tratar un número limitado de esos factores (el mínimo representativo del proceso o del producto) y el trabajo fundamental será

entonces la búsqueda de correlaciones entre los valores de esos parámetros y los estados representativos de una etapa de proceso o de un criterio de calidad pre determinado.

Este interés en el estudio de correlaciones, en el ordenamiento de los parámetros obtenidos y en el tratamiento del conjunto de las informaciones está contemplado en las técnicas de una disciplina que he denominado Tratamiento Avanzado de la Información, comprendiendo globalmente los temas del área “Data Mining”. En este terreno hemos aplicado diferentes métodos estadísticos y de inteligencia artificial como las redes neuronales (PMC -Perceptron Multi-Couches-, RBF -Radial Basis Function-, TDNN -Time Delay Neural Networks-), sin detallarlas en este resumen), las cartas topológicas y sus extensiones (growing cell structures, growing neural gas...), algoritmos genéticos y los sistemas SVM (support vector machine) (S. Poggi, C. Ribeiro)[2].

Estos útiles presentados en último lugar (SVM) corresponden a modelos de clasificación o de detección de anomalías ajustados a partir de datos históricos representativos del producto o del proceso considerado. Las situaciones críticas y las fronteras de decisión están puestas en evidencia permitiendo el diagnóstico ligado a nuevas observaciones.

Veremos en los ejemplos siguientes los modos de aplicación y resultados prácticos de los conceptos expuestos. Las bases y principios de las técnicas de Data Mining son el objeto de una bibliografía relativamente abundante (M. Norgaard et all. [3], M. Tenenhaus [4], L. Eriksson et all. [5]).

3. Casos de aplicación y bases de los métodos empleados.- Trataremos un ejemplo mixto – ultrasonoro y óptico - de interacción ondas / materia en el control on line y off line de látex, materia prima de dos tipos de productos, formado por inmersión y calandrado. Este ejemplo será complementado por la descripción de un método viscosimétrico utilizado en la caracterización de un medio alimentario.

3.1. Método ultrasonoro.- El látex, materia prima de múltiples productos industriales, es un elemento complejo, de origen natural, que puede evolucionar en el curso del transporte, el almacenado y en la integración a los útiles de producción. Asociado a diferentes componentes secundarios necesarios para permitir o facilitar el proceso de fabricación del producto final, el látex constituye un medio frágil y muy difícilmente definido por un número razonable de parámetros simples. A pesar de esas dificultades, los fabricantes de los productos a base de látex saben apreciar por experiencia el comportamiento global de la materia o, simplemente, verifican al fin del proceso las propiedades del elemento resultante. Integramos el hecho que en el mundo industrial el conocimiento empírico es siempre el patrimonio de pocos operadores experimentados.

Frente a la necesidad de racionalizar esta función y de definir las responsabilidades respectivas del proveedor de la materia prima y del industrial transformador en el caso de derivas funcionales o de calidad, la relación entre la definición de la materia y la evolución del proceso en fábrica fue estudiada, en nuestro caso específico, según un objetivo múltiple:

- La optimización de un proceso de fabricación que consiste, en una primera etapa, en la inmersión de moldes que deben recibir un espesor preciso de materia, al retirar el molde del elemento líquido. El control debe hacerse en línea.
- El control de “la calidad” a la recepción de la materia prima, llegada por ruta desde plantas químicas distantes, antes de ser aceptada por el industrial. Es un segundo caso de

fabricación (calandrado), tratándose de productos en grandes superficies para aplicaciones en la construcción.

- El control de la estabilidad del producto de base, en el tiempo de almacenado y de transferencia a las unidades de fabricación.

El control en línea incumbe especialmente un comportamiento de la materia ligado a la viscosidad, sabiendo que ese parámetro no es el único determinante de la calidad global y que la medida directa de la viscosidad en línea es prácticamente imposible en las condiciones industriales dadas. En este contexto, consideramos las relaciones existentes entre la viscosidad y los parámetros propagativos alta frecuencia, sujeto tratado en la bibliografía científica, en el caso sistemas líquidos newtonianos.

La velocidad y la atenuación pueden expresarse en las formulas siguientes, observando la dependencia con respecto a la viscosidad, siendo en nuestras expresiones μ_0 le coeficiente de viscosidad dinámica y $\lambda_0 =$ coeficiente de Lamé.

$$\left\{ \begin{array}{l} c(\omega) = c_0 \sqrt{2} \sqrt{1 + \frac{\omega^2 (\lambda_0 + 2\mu_0)^2}{\rho_0^2 c_0^4}} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\omega^2 (\lambda_0 + 2\mu_0)^2}{\rho_0^2 c_0^4}} \right]^{-1/2} \\ \alpha(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{\omega^2 (\lambda_0 + 2\mu_0)}{\rho_0 c_0^3} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2 (\lambda_0 + 2\mu_0)^2}{\rho_0^2 c_0^4}}} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\omega^2 (\lambda_0 + 2\mu_0)^2}{\rho_0^2 c_0^4}} \right]^{-1/2} \end{array} \right.$$

Dado que en nuestro caso el fluido no corresponde a las condiciones ideales que enmarcan el desarrollo matemático canónico, apoyándonos en esas bases fundamentales, debemos buscar relaciones no generalizables entre los parámetros de propagación y la viscosidad que puedan satisfacer las necesidades prácticas, limitadas, del objetivo industrial.

Un sistema ultrasonoro robusto, compatible con las posibilidades de instalación y capaz de globalizar la información sobre el estado de la materia fue ideado y construido según la estructura mostrada en la figura III.

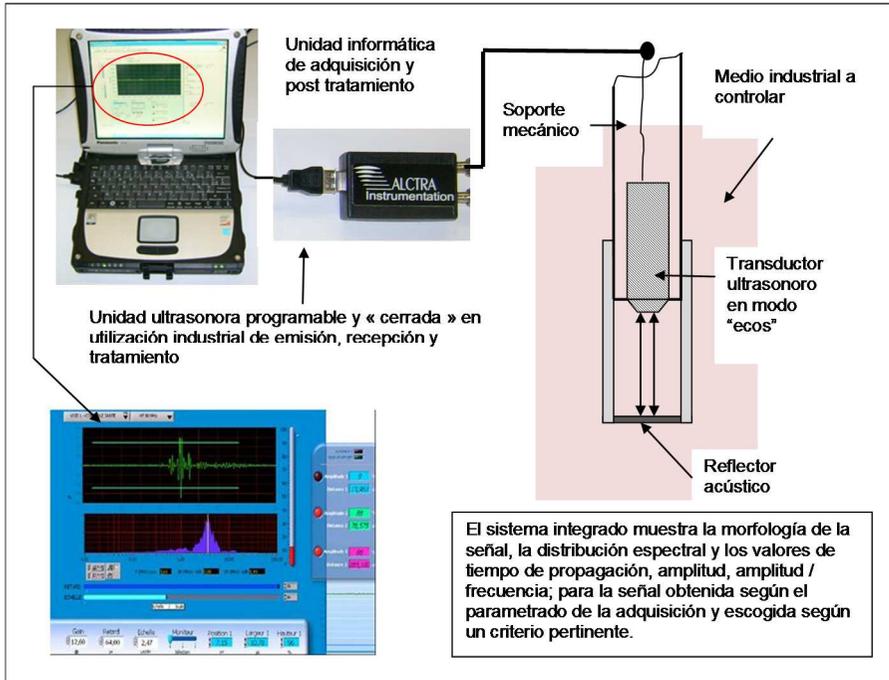


Figura III.- Dispositivo de caracterización y control de látex en línea, a través del conocimiento de un parámetro representativo de la apreciación industrial de la calidad global del producto obtenido.

El desarrollo conjunto del método con los especialistas de producción permitió el establecimiento de un criterio de control “operador” claro y fiable:

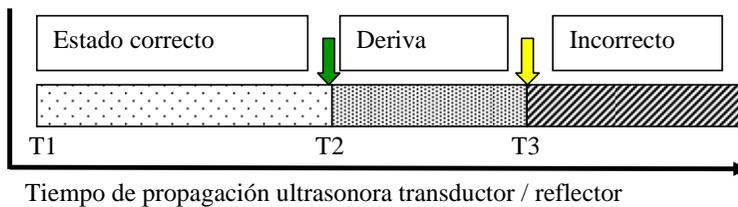


Figura IV.- Cursor de aceptabilidad según medida de tiempo de propagación.

El sistema, automatizado sobre la base del paramétrado de la unidad ultrasonora (cerrada para el operador), comanda operaciones de corrección en la zona intermedia T2-T3 e interrumpe el proceso en la zona prohibida, más allá de T3. Para cada tipo de producto, los umbrales de alarma son ajustados a partir de la unidad informática. Esos datos están almacenados en esa unidad, por lo que el operador se limita a accionar una configuración pre establecida.

Es fácil observar que los valores de velocidad de propagación no son inyectados en un modelo explícito, ellos corresponden a una apreciación global del estado de una materia compleja y fisicoquímicamente “desconocida” por el industrial.

3.2. Método óptico.- Siempre en el ejemplo del látex, el control de la materia prima en las fases de transporte, almacenado y transferencia exigió el desarrollo de conceptos aun más globalizantes y de aplicación volante discontinua. Los estudios exploratorios realizados

condujeron a la adaptación de un segundo aspecto de la interacción ondas / materia. En este caso es la dirección óptica que aporta la solución más interesante. Observemos algunos aspectos de la valorización de fenómenos de refracción gracias a la materialización de ciertas ideas originales.

La refractometría está considerada como uno de los métodos tradicionales más conocidos en el campo del análisis fisicoquímico. El índice de refracción, como imagen de la influencia del medio sobre la onda electromagnética, es portador de una información valiosa sobre ese medio. Los valores del índice de refracción de medios diversos son bien conocidos y utilizados en el reconocimiento de sustancias o de estados variables de medios líquidos. Pero también, desde nuestro punto de vista, el índice de refracción conduce a una forma de caracterización globalizante y a la diferenciación rápida de fórmulas o productos químicos. Los instrumentos refractométricos clásicos recurren a la observación de una propagación luminosa en un medio que debe ser no opaco y exento de impurezas. En estas condiciones estamos ya lejos de muchas situaciones industriales, debiendo agregar como problema adicional, la necesidad en los casos más corrientes, de extraer muestras que deben ser representativas de un medio de homogeneidad no probada y acondicionado en grandes volúmenes.

Conociendo el interés industrial de un dispositivo que contemple los requisitos más corrientes de una orientación de control, un sistema innovador fue desarrollado sobre la base de principios ópticos simples y de componentes conocidos.

El desarrollo de la idea de representatividad global de la medida de un índice de refracción en el caso de líquidos complejos esta detallada en una publicación que el lector interesado puede consultar, evitando de sobrecargar este resumen de una metodología aplicativa –(I. Berechet – G. Alcuri) [6].

El funcionamiento del captor refractométrico está basado sobre el principio de la detección continua de la zona crítica de una superficie esférica en contacto con el medio líquido. Esta zona crítica está ligada al índice de refracción del líquido e implícitamente a su concentración o densidad. El captor está constituido de un cuerpo de geometría semi esférica, de un LED generador de un haz infrarrojo colimatado y de un fototransistor que recibe las consecuencias de la reflexión total del haz sobre la superficie limite cuerpo óptico / liquido. Cuando la concentración de la materia soluble en el líquido considerado aumenta, una parte del haz luminoso es refractado, provocando una variación de la señal de salida del fototransistor. La incidencia de la temperatura está considerada gracias a una medida integrada en el mismo captor.

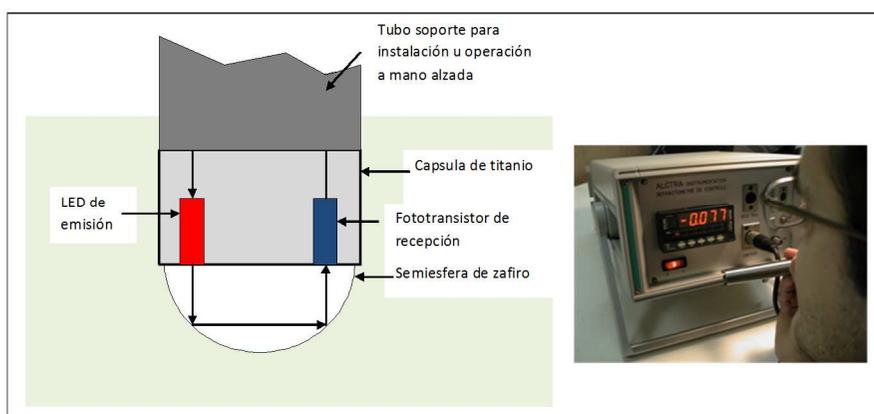


Figura V.- Principio de funcionamiento del refractómetro en línea y aspecto del instrumento. El operador manipula el refractómetro a mano alzada. La unidad electrónica muestra un valor significativo para la materia analizada correspondiente a una escala arbitraria, específica a la aplicación.

En nuestro caso de control de látex off line, una escala arbitraria fue establecida de común acuerdo entre el fabricante de la materia prima y el industrial utilizador, en el marco de un contrato de responsabilidad de calidad. En estas condiciones los valores obtenidos condicionan la aceptación o el rechazo del producto.

3.3. Extracción de un conocimiento de estado pasando por una medida simplificada.- Los ejemplos se multiplican en el campo del control de procesos o de productos que presentan una complejidad estructural o funcional considerable. Es el caso de las materias de origen natural y especialmente los derivados de la actividad agroindustrial, aunque es importante señalar que el petróleo también entra en esa categoría y que el control de los procesos de esa actividad constituye un terreno mayor de aplicación de técnicas de control globalizante. Decidiendo quedarnos en el sector agroindustrial, un problema particular fue detectado en la industria de productos lácteos. Se trata de evitar la presencia de lactoserum en los envases de yogurt industriales.

Volúmenes variables de lactoserum aparecen en el intervalo entre la preparación de la receta (de complejidad creciente, según la tendencia del mercado) y el proceso de packaging. El interés mayor es la minimización de este tiempo intermediario. El control de la operación de packaging debe pasar por el reconocimiento de la presencia de la materia no deseada, que corresponde desde el punto de vista físico, a una deriva en la constitución de la matriz "yogurt". La deriva debe ser vista por la variación de un parámetro necesariamente simple y económico de obtener. Ese parámetro revelador es la viscosidad, medida por un dispositivo capaz de funcionar en línea y obedeciendo a todas las reglamentaciones propias a la elaboración de un alimento.

El elemento activo del viscosímetro funcionando en línea es una varilla vibrante accionada por una tensión eléctrica continua. La amplitud de vibración varía en función de la viscosidad del medio en que está sumergida la varilla (figura VI). Calibrando el sistema con respecto a una señal proporcional a la amplitud de vibración, los valores de viscosidad pueden conocerse directamente o integrar una escala arbitraria correspondiente al estado de la materia procesada. En nuestro caso de yogurt los valores diferenciando la situación nominal de la deriva emergen sin dificultad. El producto apto a envasar muestra valores de 100 a 150 cP (centipoise) y la presencia de lactoserum queda revelada por valores del orden de 1 cP. El envasado no conforme es evitado hasta corrección del proceso.

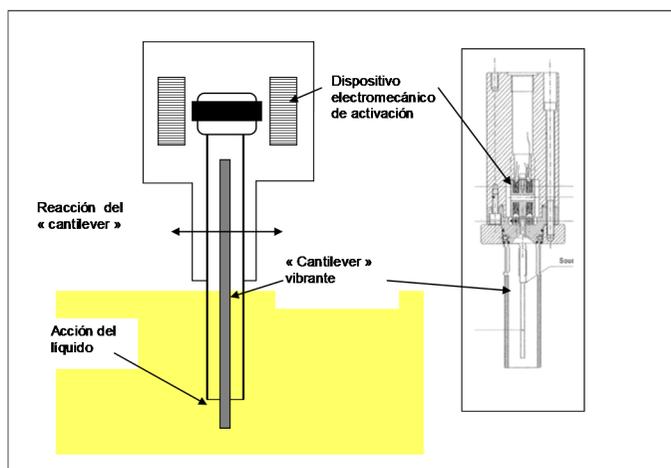


Figura VI.- Estructura del viscosímetro y principio electromecánico de funcionamiento

4. Control de sistemas y equipos componiendo sistemas de producción en la industria pesada.- Los ejemplos presentados corresponden a problemas industriales que tienen límites funcionales precisos o que involucran un tipo de equipamiento bien circunscrito. Ciertos procesos se caracterizan, en cambio, por desarrollarse en forma de un conjunto de unidades relacionadas, trabajando en sucesión lineal o incluso según bucles de feedback. El control, optimización y vigilancia previsional del proceso y de la maquinaria se realizan generalmente a través de múltiples captores que traducen, cada uno, un aspecto del funcionamiento del sistema. Esos captores responden a tecnologías y formas variadas, como presión, temperatura, flujo, propiedades eléctricas o vibraciones, entre otros. Muchas veces los parámetros obtenidos no son precisamente los necesarios para definir la situación, sino que son aquellos a los cuales tenemos acceso en la práctica. Una forma alternativa de seguir y controlar los mecanismos complejos de producción es nuestro concepto de caracterización globalizante, sobre todo en los casos en que los procesos, los medios fisicoquímicos y la transformación de los componentes no son totalmente conocidos. Las dos formas de informar los operadores y de interpretar el estado y la evolución del sistema físico están representadas en la figura VII y las anotaciones adjuntas.

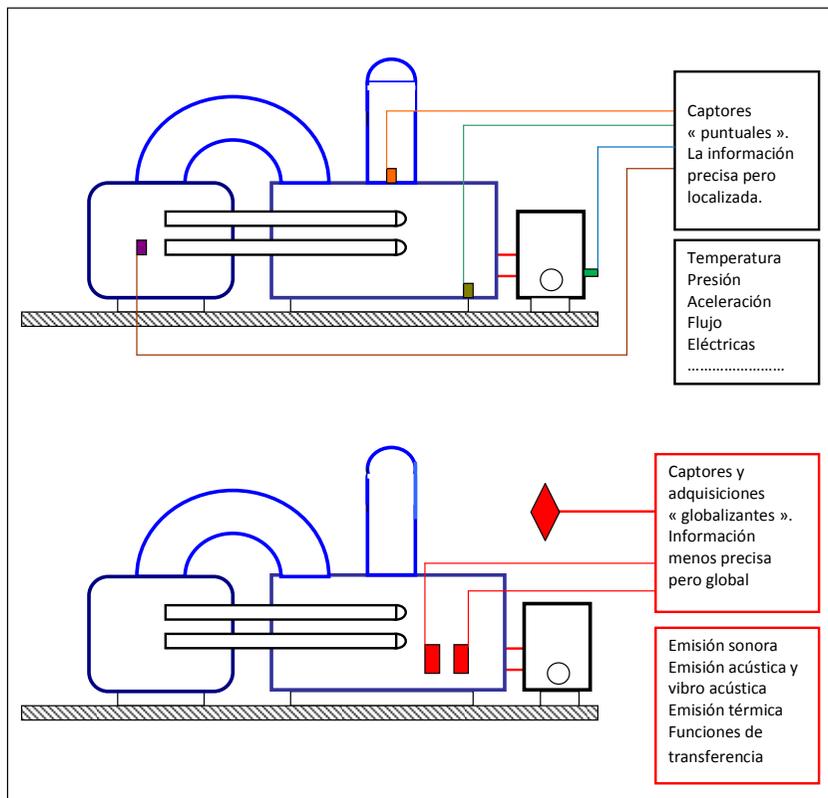


Figura VII.- Dos formas, que pueden ser complementarias, para la supervisión de un sistema compuesto: Captosres puntuales transmitiendo imágenes parciales del proceso y dispositivos globalizantes.

Quizás el caso más conocido, y que ha inspirado muchas de nuestras realizaciones, es el del mecánico que “escucha” el automóvil o la máquina en la estructuración del diagnóstico de una situación o de un disfuncionamiento. Su “captor”, el oído, es “imperfecto” y no lineal, pero es direccional y selectivo estando conectado a un mecanismo de interacción inteligente de su experiencia con los resultados de experimentación en tiempo real. El experto hace variar, dentro

de un intervalo dado, las entradas de su “red neuronal” personal para estructurar una matriz de información donde se mezclan las relaciones directas de causa a efecto con una parte de elementos difusos (“fuzzy”). Todos sabemos que el día que nuestros sistemas tecnológicos presenten la misma eficiencia que un mecánico experimentado o un buen operador de máquina, el objetivo final será logrado, pero estamos lejos de ese ideal.

Esta forma de tratamiento de la información (las pautas científicas y técnicas, serán probablemente motivo de otra publicación) fue aplicada, por ejemplo, en la asistencia a un proceso de extrusión de elastómeros. Observando al mejor operador del fabricante constatamos la forma visible del feedback que este experto ajustaba en función de la constatación visual del resultado del producto salido de la maquina (antes de vulcanización) para regular sus dos únicas variables accesibles: el perfil de temperatura y la velocidad de rotación del motor que acciona el tornillo sin fin de propulsión de la materia. Simplificando la forma de observación del operador y trabajando dentro del campo de variabilidad nominal de los ajustes mecánicos y eléctricos posibles, globalizando una parte de la información bajo forma de consumo eléctrico del motor (relación con la reacción del producto) e integrando la forma de compensación realizada por el operador, se construyó un dispositivo de control que tomo la forma de una Red Neuronal Formal. No se reemplazó al operador, pero los resultados de este trabajo original contribuyeron a minimizar el tiempo de convergencia hacia la calidad requerida en el caso normal de intervención de operadores menos experimentados que nuestro modelo humano.

Este trabajo tuvo un corolario particularmente interesante y fértil. En efecto, nos preguntamos ¿por qué el operador, buscando las características requeridas del producto, acciona la regulación de temperatura y la velocidad de rotación del motor de la extrudadora, si estos elementos, salvo accidente, no se desregulan? La respuesta es simple: el elemento variable, que provoca la deriva en las características del producto final, es la propia materia prima elastómera que entra en el proceso. Probamos que a pesar de corresponder estrictamente a la misma etiqueta industrial, habiendo seguido “el mismo” proceso, varias cargas de la mezcla utilizada no presentan el mismo comportamiento elástico y reológico. Decidimos entonces trabajar para caracterizar – globalmente – la materia antes de entrar en el proceso de extrusión. Los resultados son ya interesantes, pero una tarea de robustecimiento de la instrumentación queda por hacer.

La realización de operaciones de medida dentro de una orientación globalizante exige una reflexión importante para la definición de los captores “panorámicos”. Retomemos el método del mecánico que ausculta su máquina. En la recepción de un fenómeno acústico en propagación aérea tenemos interés en seleccionar la información de manera de eliminar los elementos no pertinentes y de maximizar la relación señal / ruido para retener con el mínimo esfuerzo de análisis, las emergencias portadoras de los datos buscados. Conceptualmente, esto se traduce por operaciones de filtraje frecuencial y espacial, correspondiendo a una selección de sector espectral y de dirección de la observación. Técnicamente, la recepción de señales resultantes de un acoplamiento fluido / estructura se realizará a partir de unidades que responden a las necesidades de cada situación:

Micrófono unidireccional (cardioides, súper cardioides, cañón...).

Resultado esperado: observación en una dirección dada.

Micrófono direccional asociado a una parábola de focalización.

Resultado esperado: observación dirigida y filtraje en frecuencia.

Antena intesimétrica (obtención de la magnitud vectorial Intensidad, y no solamente la magnitud escalar Presión).

Resultado esperado: localización – identificación de fuentes parciales dentro de un sistema emisor compuesto.

Antenas multi captor (matrices de una serie de micrófonos generalmente coplanares).

Resultado esperado: responsabilidad relativa de las zonas emisoras, jerarquización de fuentes, identificación de fuentes, focalización de zonas identificadas, guiado de acciones puntuales de caracterización.

Hemos visto la presentación del método expuesto en este trabajo en su fase de adquisición de los parámetros de base, veamos ahora con cierto detalle las operaciones siguientes. Apoyándonos sobre un esquema simplificado (figura VIII), veamos las etapas sucesivas de un proceso de control y pilotaje.

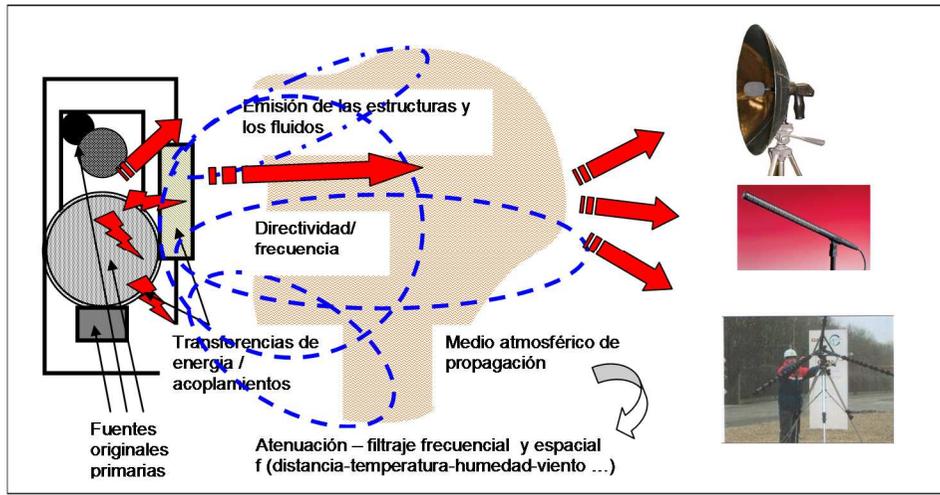


Figura VIII.- Esquema funcional de una línea de control de procesos por método globalizante. Las fuentes primarias, ligadas a las diferentes estructuras dan origen a fuentes secundarias y a un fenómeno de emisión basado en las relaciones de acoplamiento fluido (atmosfera)/ estructuras. La recepción esta efectuada, en el ejemplo, por una parábola, un micrófono direccional o una antena acústica de disposición en estrella.

El segundo paso, luego de la recepción optimizada por la selección de los captores, es el tratamiento de las señales obtenidas. Todos los medios de esta disciplina técnicamente madura son utilizados para extraer el máximo de información en el marco de la realidad industrial, que oficia a menudo como un factor limitante para el especialista del tratamiento matemático de señales. Un ejemplo de esta etapa del trabajo de caracterización con un objetivo de control y vigilancia está presentado en la figura IX, bajo forma de análisis tiempo / frecuencia, operación muy conocida por los especialistas pero poco usual en el medio de la producción industrial. La imagen de la evolución temporal de la distribución espectral traduce una forma de variación del objeto de observación dependiente del tiempo, común en los procesos de transformación de la materia, y portadora por lo tanto de informaciones valiosas.

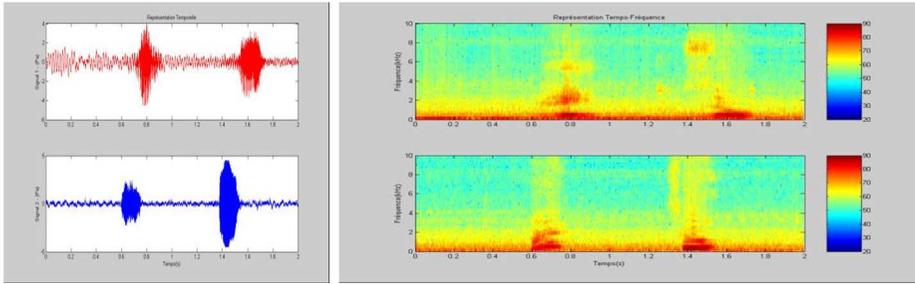


Figura IX.- Representación amplitud / tiempo de un resultado de adquisición directa pertinente. En segundo lugar, el análisis tiempo / frecuencia. La observación simultánea de las amplitudes y de la distribución espectral durante el desarrollo temporal del fenómeno aporta una información conjunta de valor donde se asocia la identificación espectral de una situación con su “constante de tiempo”, que es frecuentemente un elemento de referencia fundamental en la estimación previsual del proceso.

El tratamiento de la información obtenida, a partir del tratamiento de las señales, constituye el tercer paso en nuestro método. Tomemos el caso presentado en la figura X.

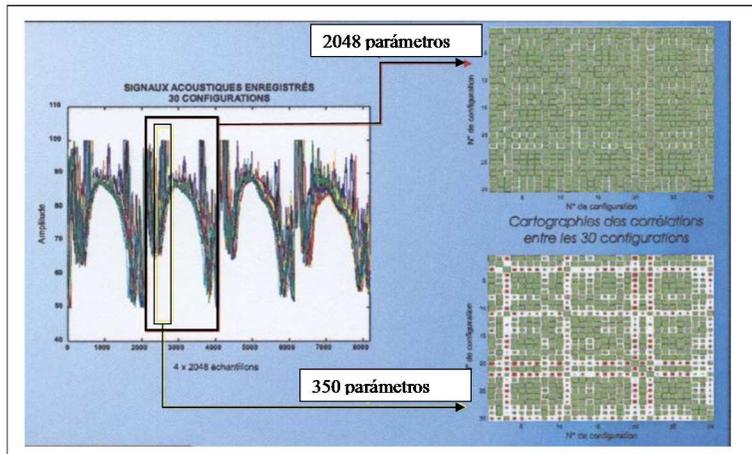


Figura X.- Selección por segmentación de la base de datos de la información pertinente dentro de un conjunto de adquisiciones donde la densidad de datos oculta los elementos significativos en un proceso de identificación para clasificación y asistencia a la decisión.

Un conjunto de captores (funcionando en adquisición de señales por vía sólida) aportan una información sobre la reacción de una pieza metálica en curso de formado en prensa. En este caso, el objeto obtenido al fin del proceso integra transversalmente una gama extensa de productos industriales. En estas condiciones, por una misma situación física, el componente puede ser “no aceptado” cuando integra un producto de posición alta y “aceptable” cuando forma parte de una realización de categoría más baja. La clasificación es entonces más compleja que la simple división en “bueno” y “malo”, sabiendo que los defectos evolutivos deben ser rechazados en el conjunto de la gama. El ejemplo elegido de tratamiento de la información presenta las posibilidades, no tradicionales, de análisis y control de casos no solubles con las herramientas usuales de trabajo industrial.

En estas circunstancias, la información disponible es muy abundante, pero la densidad de la misma y la proximidad entre los valores de los parámetros representados no permiten la

extracción de una información interesante sobre el estado de las piezas obtenidas. Los datos se superponen y se cruzan en sus representaciones gráficas. Analizando por correlación el conjunto de los datos de una secuencia experimental, llegamos a una cartografía que no muestra ningún signo de emergencia claro. La uniformidad de la matriz superior (en figura X) permite esa afirmación. En cambio, aplicando un criterio de segmentación de datos, identificamos un sector de las adquisiciones que muestra (matriz inferior) emergencias significativas que nos hablan de la existencia de información no redundante.

En resumen, y sin entrar en los mecanismos matemáticos de tratamiento, notamos que al trabajar con 2048 parámetros (matriz superior) estamos en presencia de una sobreabundancia de adquisiciones que oculta el conjunto de datos significativos. Al limitar, de una manera sistemática los datos considerados, las emergencias informacionales aparecen con claridad, y el problema puede tener una solución (matriz inferior).

La segmentación de la base de datos fue entonces seguida de un estudio de clasificación, operado sobre la base de una aproximación neuronal, según una arquitectura de principio representada por la determinación de vectores de entrada accionando la primera capa operacional. La estructura continúa bajo forma de un estrato o capa de codaje, capaz de activar un estrato o capa de decisión, desembocando sobre una última etapa de vectores de clase. Este lenguaje particular al medio de las RNF (redes de neuronas formales) describe los conceptos que fueron tratados por útiles algorítmicos de tipo núcleo estimador o red de tipo Winner Take All.

El tratamiento evolucionado de los datos acústicos en propagación sólida nos ha conducido de esta forma “indirecta” a la obtención de una clasificación robusta del resultado industrial (figura XI) en condiciones operativas severas y en presencia de fuertes tensiones técnicas y operacionales.

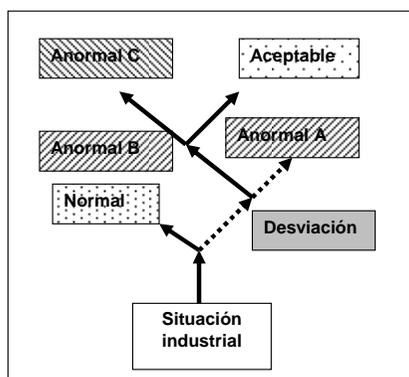


Figura XI.- Árbol de clasificación de la situación industrial elaborado sobre la base de una estructuración especial de la base de datos (segmentación) de operaciones de correlación y de tratamiento por útiles algorítmicos de tipo neuronal. El carácter industrial de la clasificación, correspondencia entre el análisis y el significado práctico, es el producto del trabajo conjunto entre los analistas y los expertos de producción.

La observación acústica de las instalaciones es una forma de estudio y de control, que puede ser remplazada o complementada por otras orientaciones, por ejemplo térmica. La presentación del tema y de sus etapas de acción sería estrictamente la misma. En este momento, en el marco de un programa multidisciplinario francés, administrado por la empresa Hutchinson (grupo Total), trabajamos en la caracterización de un equipamiento pesado de preparación de termoplásticos con un objetivo de control de la producción y de mantenimiento predictivo. El caso representa un

buen ejemplo de observación multi captor y multi dimensional de un sistema muy complejo y de funcionamiento crítico. La búsqueda de datos significativos pasa entonces por medidas múltiples:

- Vibratorias multi direccional y multi captor.
- Emisión acústica (señales alta frecuencia en propagación solida).
- Térmica puntual.
- Térmica por cámara infrarroja.
- Acústica.
- Viscosidad.
- Función de transferencia en línea.

Ciertos parámetros son transmitidos por vía wireless, contando con unidades de adquisición autoalimentadas, tomando la energía necesaria de la propia actividad vibratoria, con la intervención de dispositivos de transformación vibraciones / corriente eléctrica. La información conjunta es integrada, tratada y, más tarde, será incorporada en mecanismos de convergencia hacia criterios de funcionamiento nominal y en programas de comportamiento previsional y mantenimiento predictivo.

5. Conclusión.- La caracterización de medios y procesos industriales según un método globalizante representa, a veces, un esfuerzo personal importante para el especialista de procesos. En efecto, el especialista tiene tendencia natural a buscar la comprensión íntima de la física y la química que están detrás de toda realización industrial y es difícil renunciar a este objetivo “natural” para contentarse con una visión panorámica de los hechos. Pero recordemos que “panorámica” no es “ciega” y que la complejidad de los fenómenos que integran sistemas en interacción continua, asociados a las necesidades pragmáticas de la actividad industrial, otorgan un valor particular a esta orientación que se apoya, a pesar de su aspecto “pseudo empírico”, sobre sólidas bases científicas y técnicas.

6. Bibliografía.

- [1] J.P. Lefevre, Ph. Laseygues, C. Potel, J.F. de Belleval – L’acoustique ultrasonore et ces applications 1° & 2° parties – Acoustique & Techniques 36, 4-19. 2004.
- [2] S. Poggi, C. Ribeiro – Réseaux de neurones, machines à support et cartes topologiques – ALCTRA séminaire École supérieure d’électronique de l’Ouest 40pp.
- [3] M. Norgaard, O. Ravn, N.K. Poulsen, L.K. Hansen – Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems. Springer – Verlag London. 2005.
- [4] M. Tenenhaus - La regression PLS. Ed. Technip Paris. 2000
- [5] L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh – Wold, J. Trigg, C. Wikstrom, S. Wold – Multi and Megavariate data Analysis. Umetrix Academy. Umea – Sweden. 2006.
- [6] I. Berechet, G. Alcuri - Miniaturized refractometric sensor for processing control- Proceedings Société Française d’Optique 10pp. 2002.