

LA MODERNIZACIÓN PASA POR LA IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DEL PROCESO

Innovaciones en el control de procesos en almazaras

En la mayor parte de los procesos industriales el control es llevado a cabo mediante la intervención de un operario que decide cómo, cuánto y cuándo manipular las diferentes variables de las que depende el proceso con el fin de conseguir unos objetivos de calidad productiva continua y eficaz. Las necesidades de mejorar la calidad del producto final, disminuyendo los costes y aumentando las exigencias de producción a los equipos industriales instalados –con el máximo respeto al medio ambiente y la seguridad tanto del personal como de la instalación–, exigen de estos procesos mayor rapidez, más precisión en las variables a controlar y una mayor eficiencia productiva. En este artículo se analizan los avances realizados en el proceso de elaboración del aceite de oliva.

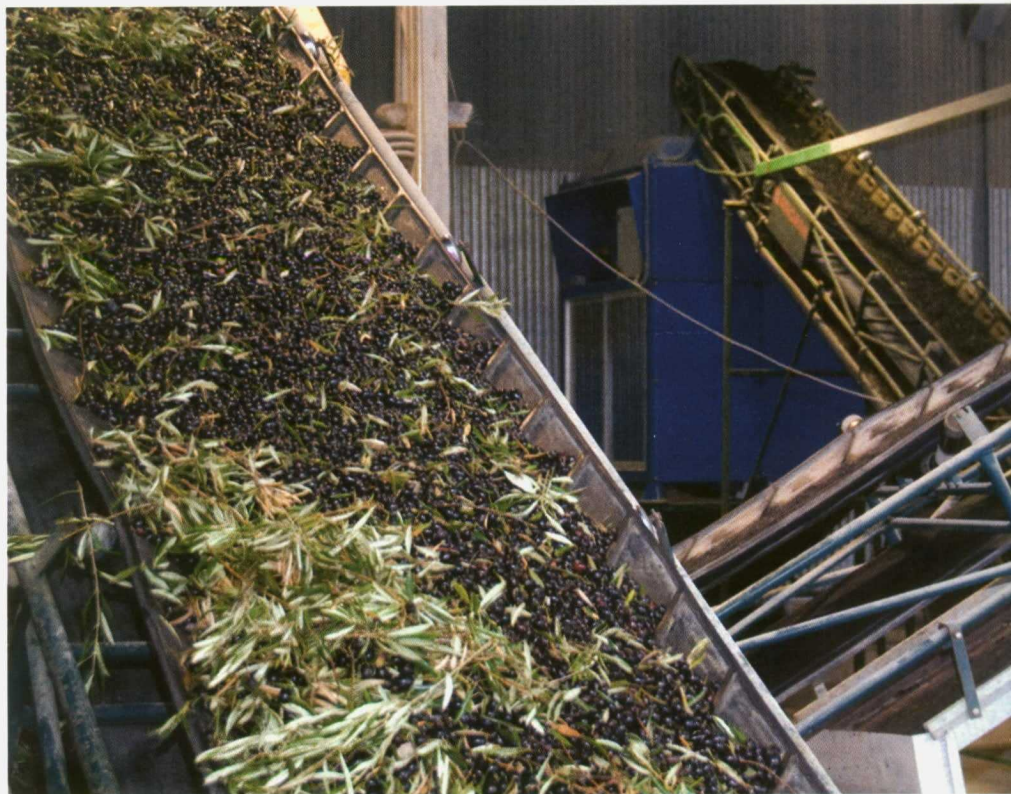
Antonio Jiménez, Gabriel Beltrán y
María de la Paz Aguilera.

Centro IFAPA Venta del Llano. IFAPA, Junta de Andalucía.
Mengíbar (Jaén).

El proceso de elaboración del aceite de oliva virgen en almazara es un proceso industrial que no queda al margen de estas exigencias y cuya complejidad ha ido en aumento con el tiempo. Hasta hace relativamente poco, la elaboración se ha realizado, exclusivamente, mediante el empleo de prensas hidráulicas, y es a partir de finales de los años sesenta y principios de los setenta, cuando esta industria realiza una importante transformación al introducir los sistemas de elaboración continuos de tres salidas, basados en la separación del aceite mediante aplicación de la fuerza centrífuga. Esta transformación, lenta en un principio, se generaliza a finales de la década de los noventa, lo que permitió incrementar notablemente la capacidad productiva de las

almazaras y mejorar la calidad media de los aceites obtenidos. Esta mejora del proceso supuso, sin embargo, un incremento notable en el volumen de efluentes contaminantes generados. La falta de soluciones realmente efectivas al problema generado con el alpechín, problemas de escasez de agua y la sensibilización por el mantenimiento y conservación del medio ambiente, indujo a esta industria a realizar una nueva transformación tecnológica introduciendo los sistemas de elaboración en continuo de dos salidas, en un intento de reducir la producción de este efluente y el consumo de recursos naturales como el agua.

Las exigencias del consumidor, demandando cada vez más una mayor cantidad de productos con las máximas garantías de calidad, mejores relaciones calidad/precio y que hayan



sido obtenidos con el máximo respeto al medio ambiente, son las inductoras de la modernización y actualización que se ha producido y sigue produciéndose en el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen.

Esta modernización pasa inevitablemente por la implantación de sistemas de automatización y control optimizado del proceso. Un control preciso de éste supone una disminución de las pérdidas en subproductos, una mejora en el rendimiento de equipos, una disminución de tiempos muertos durante la producción, una disminución del consumo de energía, una mejora en la seguridad de las instalaciones, una producción más flexible y ajustable a las exigencias del consumidor, así como un mayor control sobre la calidad de los aceites obtenidos.

En la actualidad la mayoría de las almazaras bien gestionadas existentes en la Cuenca Mediterránea, y a pesar de la importante transformación sufrida en la modernización mecánica, siguen realizando la optimización del proceso mediante un control manual de las variables que lo regulan, y debido a su alto coste, el grado de implantación en la industria es variable, si bien las empresas actuales dedicadas a la instalación de estos sistemas están ofreciendo paquetes informáticos adaptables a las ne-



Foto 1. Sensores a la entrada del decanter.
Foto 2 (abajo). Sensor de aceite.



cesidades concretas de cada almazara. El resultado de esta forma de proceder es, por tanto, el de un proceso poco ajustado, con pérdidas significativas de aceite en los subproductos, el alperujo, en el caso de dos fases, o en los orujos y alpechines en el resto de los sistemas de elaboración, y un escaso control sobre la calidad del producto obtenido.

Sistemas informáticos para la supervisión

La evolución histórica del control automatizado del proceso de elaboración del aceite de oliva se inicia a partir de los años noventa, cuando comienzan a introducirse en el sector oleícola sistemas informáticos capaces de supervisar el funcionamiento del proceso de elaboración y regular ciertas variables del proceso a partir de consignas establecidas por el operador.

Básicamente, estos sistemas están compuestos por un programa informático, basados en sistemas SCADA, con una interfaz de presentación hacia el usuario, que recibe información del proceso a través de sensores específicos. De acuerdo con la información recibida de dichos sensores y de las consignas de trabajo previamente establecidas, el programa modifica las va-

riables del proceso, actuando sobre mecanismos de regulación: electroválvulas, válvulas automáticas, variadores de frecuencia en motores, etc., hasta ajustarlas a las consignas preestablecidas, originando un importante flujo de información y control a diversos usuarios: operadores, supervisores de control de calidad, mantenimiento, gerencia, etc., con diferentes niveles de acceso a la misma. Adicionalmente, proporcionar información en tiempo real de los valores que toman las distintas variables de trabajo, el almacenamiento en soporte informático de toda la información que acontece en el proceso para un posterior análisis, o la posibilidad de manejo del sistema a distancia, son algunas de las ventajas que pueden añadirse en la implementación de estos sistemas testeados en una almazara.

La efectividad de estos sistemas automáticos está suficientemente contrastada a través de diversos proyectos llevados a cabo en la almazara experimental del Centro IFAPA Venta del Llano, más conocida como la Estación de Olivicultura, donde se diseñó el primer sistema de automatización y optimización creado específicamente para este tipo de industria, y gracias a la evolución de la informática y de la microelectrónica industrial que está permitiendo la incorporación de sistemas cada vez más embebidos o compactos y sensores más precisos (fotos 1 y 2).

Variables que intervienen en el proceso

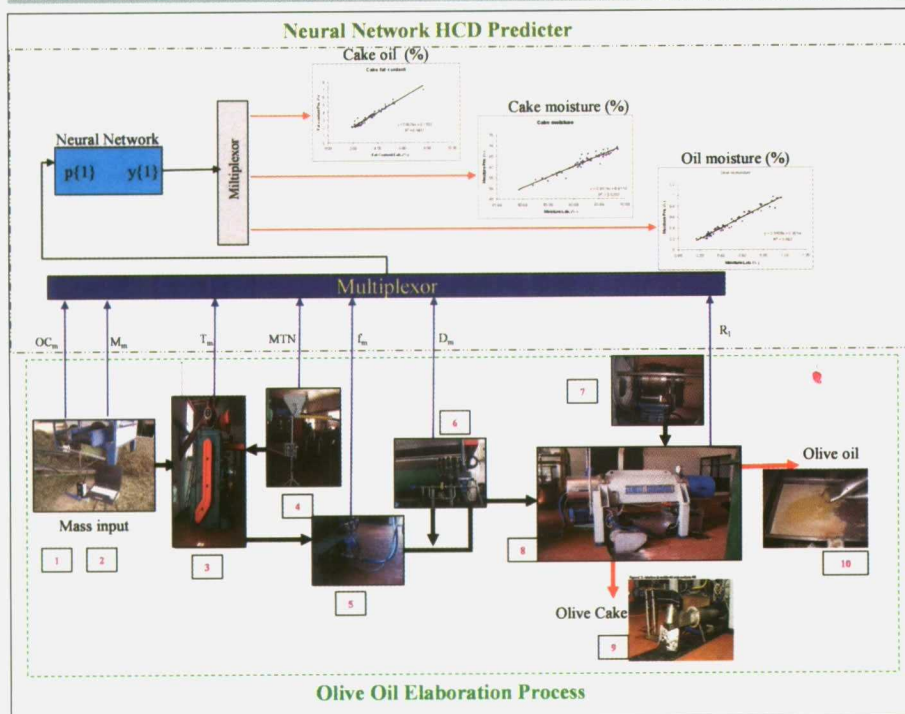
Los sistemas actuales de gestión y automatización de almazaras suponen un gran avance en el control del proceso de elaboración del aceite de oliva, sin embargo su efectividad puede verse limitada a simples instrumentos de visualización y control manual a distancia, si no se dispone de información inmediata adicional de otros parámetros que tienen una estrecha relación con las variables de regulación del proceso, como son las características del fruto, de los subproductos y del aceite obtenido.

Para que la regulación del proceso de elaboración del aceite de oliva se efectúe de una forma efectiva y, con ayuda de estos sistemas de control, se consiga una adecuada optimización del proceso, ésta ha de estar basada en el cono-



FIGURA 1.

Red neuronal.



cimiento *on-line* de las características del fruto, del nivel de agotamiento de los subproductos y de las características del aceite que se obtiene.

Por su parte, y debido fundamentalmente a la naturaleza cambiante del fruto con el que se trabaja, se hace necesario un ajuste continuado de las condiciones de trabajo del proceso de elaboración, a fin de obtener de las diferentes variables que lo rigen la máxima eficacia, dentro de sus posibilidades de trabajo.

Es conocido el gran número de estas variables que pueden influir y la gran dificultad de su regulación de forma independiente debido la relación multifactorial que existe entre ellas. Actualmente, dicha regulación viene efectuándose de una forma subjetiva en base al conocimiento empírico adquirido por el técnico de la almazara a través de los numerosos años de trabajo en los que ha aprendido a asociar ciertos

controles visuales (como la fluidez del orujo y la turbidez del aceite que sale del DCH, principalmente, etc.) con datos analíticos relacionados y datos de producción, tomando las decisiones de regulación de una forma subjetiva o a posteriori de una información analítica que llega siempre con retraso.

Herramientas para una regulación predictiva

La posibilidad de disponer de herramientas que permitan a este operador prever con antelación el comportamiento del proceso y jugar con las variables de éste hasta encontrar la combinación adecuada de éstas al tipo de aceituna que se está procesando, adelantándose a la regulación definitiva, es de gran importancia en este tipo de industria ya que per-

mite mejorar la eficacia de las diferentes etapas y, por tanto, mejorar el proceso productivo en general al poder regular con anticipación las condiciones necesarias para la preparación de la masa de aceituna y la extracción del aceite.

Conseguir este objetivo solo es posible mediante la implantación de sensores analíticos para medida en tiempo real de aquellos parámetros físico-químicos que muestran una relación directa con estos objetivos y en combinación con técnicas de control de procesos basadas en la inteligencia artificial las cuales permiten aportar soluciones instantáneas y facilitar los intentos de optimizar este proceso industrial a través de una labor de regulación predictiva.

Técnicas de espectrometría en el infrarrojo cercano (NIR), así como sistemas basados en redes neuronales para el desarrollo de sensores virtuales y sistemas de control (figura 1), pueden ser empleadas, adaptadas e incorporadas a los sistemas de automatización.

Conocer la composición del fruto, en cuanto a contenido graso y humedad, así como aquellas otras características físicas del fruto que pueden verse afectadas por el estado de maduración del fruto e influir en el rendimiento y calidad del aceite, es esencial para prever el comportamiento de la masa de aceituna durante su procesamiento y necesario para poder realizar una optimización razonable del mismo (foto 3).

Bajo el punto de vista extractivo, el principal parámetro al que suele acudir para analizar la efectividad del proceso es el contenido graso, referido a la materia seca (RGMS), con que salen los orujos del decanter; el contenido graso y la humedad de los orujos son parámetros esenciales para controlar el proceso de elaboración.

Parámetros de calidad

Actualmente, uno de los principales problemas con que se enfrenta el proceso de obtención de aceites de oliva virgen de calidad, es la ausencia casi total de mecanismos tanto para el control de calidad del producto final como para la clasificación de los aceites obtenidos previamente a su almacenamiento en la bodega. La mayor parte de las almazaras productoras no solamente no realizan ningún tipo de control, sino que además, no disponen de criterios para la clasificación del aceite obtenido,

La almazara debe realizar una caracterización instantánea del fruto que recibe con objeto de separarlo y distribuirlo de forma inmediata a los depósitos de una manera diferenciada según calidades o características específicas

almacenándose en el mismo orden en que éste es producido con la consiguiente pérdida, tanto de la identidad del producto, como del valor de éste al mezclarse aceites de diferentes calidades.

Si el agricultor lleva frutos sanos a la almazara, ésta debe mantener en cada una de las fases del proceso la calidad del fruto que recibe, regulando de forma racional las variables del proceso y evitando las situaciones que produzcan la alteración del producto y, principalmente, realizando una caracterización instantánea de éste con objeto de separarlo y distribuirlo de forma inmediata a los depósitos de una manera diferenciada según calidades o características específicas, evitando, por un lado, que pequeñas cantidades de aceites defectuosos se mezclen con partidas de aceites de buena calidad, produciéndose un deterioro irreversible de éste con la consiguiente depreciación comercial del producto y, por otro lado, separando aceites de diferentes características para, con posterioridad, poder realizar composiciones de éstos según las



Foto 3. Conocer la composición del fruto, en cuanto a contenido graso y humedad, o el estado de maduración es esencial para prever el comportamiento de la masa de aceituna durante su procesado.

exigencias de los consumidores a los que se dirijan, sin olvidar la importancia que este control exhaustivo puede tener en la trazabilidad del producto.

Por otro lado, la caracterización del aceite de oliva virgen en tiempo real quedaría "coja", si no se tuviese en cuenta el aspecto aromático de estos aceites, dada la importancia de esta caracterización para la clasificación del tipo de aceite, según reglamento, y para la mayor o menor aceptación por parte del consumidor. El aspecto aromático del aceite de oliva virgen es evaluado habitualmente mediante el panel test, el cual implica la participación de un amplio número de personas, previamente estrenadas, siendo su tiempo de respuesta lento, por lo que su utilidad como instrumento de análisis en línea es nula, quedando relegado su papel a método de referencia.

MICHELIN AxioBib

Con MICHELIN AxioBib, sus tractores más potentes trabajan con presiones más bajas.

Sus tierras se lo agradecerán.



**Su tractor
más potente
se lo pide...
sus tierras
también.**



MICHELIN **ULTRAFLEX** Technologies





Foto 4. Equipo AOTF-NIR Multiplexor.

Proyectos de investigación

A través de la ejecución de diversos proyectos I+D+i en el Centro IFAPA Venta del Llano, se ha podido evaluar la viabilidad de la tecnología NIR para la caracterización de parámetros característicos en masa de aceituna, subproducto orujo y aceite. La incorporación de tecnologías NIR más actuales, como AOTF-NIR, basadas en dispositivos ópticos que permiten el escaneado de forma continuada e instantánea, reducen el equipamiento necesario y éste se hace más fácilmente adaptable a la línea de proceso, mejorando su manejo así como la información que es capaz de proporcionar al sistema de automatización y control. En nuestro caso, el equipo empleado está configurado mediante tecnología de estado sólido basada en la generación de la radiación NIR mediante filtros sintonizables optoacústicos (AOTF) que permite realizar varios escaneados de las muestras, en el intervalo de 1.100-2.300 nm, en décimas de segundo (**foto 4**); ésta información es gestionada por un sistema multiplexor, dotado de un total de doce salidas y sus correspondientes entradas, al que se le conectan las fibras ópticas encargadas de enviar la radiación NIR y recibir la respuesta de los diversos tipos de sensores (de reflectancia para sólidos y transmitancia/transflectancia para líquidos) dispuestos en puntos estratégicos del proceso.

A partir de la información de las variables de proceso que pueden ser proporcionadas por los sensores de un sistema de control automatizado, así como por los datos analíticos proporcionados por un equipo AOTF-NIR multicanal para análisis en línea acerca de las características de la materia prima (aceitunas), de los subproductos (orujo) y del producto objetivo (aceite), en combinación de técnicas de control de procesos basadas en redes neuronales, se puede dotar a un sistema informático (un sistema de automatización o de control de procesos, por ejemplo) de las herramientas necesarias para optimizar el funcionamiento global del proceso de elaboración, tanto en productividad del proceso, como la obtención de aceites con características definidas de antemano.

Como caso previo y utilizando los parámetros cualitativos del fruto: grasa y humedad, y las variables tecnológicas del proceso: temperatura de la masa, caudal de inyección de masa, porcentaje de dosificación de MTN, grado de dilución de la masa a la entrada del decanter y punto de descarga del aceite en el decanter, se ha desarrollado un modelo predictivo centrado en el funcionamiento óptimo del decanter, empleando los datos de pérdida de grasa y humedad en el subproducto orujo y de humedad del aceite a la salida de éste, como indicadores de su funcionamiento.

Los resultados obtenidos, hasta ahora, pronostican una acertada elección de las técnicas

de inteligencia artificial como un instrumento de apoyo en la optimización global del proceso de elaboración. El empleo de redes neuronales pueden contribuir de forma eficaz en la predicción del comportamiento del sistema respecto a unas determinadas variables del proceso, en tiempo real, anticipando qué valores deberían adoptar éstas a fin de conseguir unos determinados objetivos de producción. No obstante, y dada la complejidad del proceso, estas redes neuronales han de seguir aprendiendo para poder mejorar su capacidad predictiva, aumentando su conocimiento con más parámetros informativos y con toda la variabilidad posible, especialmente los que se refieren al fruto y que tienen una importante relación con la productividad del proceso, como: relación pulpa/hueso, consistencia de la pulpa, tamaño de molienda del fruto, etc., y aquéllos relacionados con la calidad del aceite: acidez, índice de peróxidos, k232, polifenoles totales, tocoferoles totales, ácidos grasos, etc. ●

Bibliografía ▼

- A. Jiménez Márquez*, G. Beltrán Maza; M.P. Aguilera Herrera; M. Uceda Ojeda. Neural Network for Horizontal Screw Solid Bowl Optimization on Virgin Olive Oil Elaboration Process. 11TH MEDITERRANEAN CONGRESS IN CHEMICAL ENGINEERING, Barcelona 2008.
- A. Jiménez Márquez; A. Molina Díaz; M.I. Pascual Reguera. Using optical NIR sensor for on-line virgin olive oils characterization. Sensors and Actuators B: Chemical. 107(2005).
- A. Jiménez Márquez; G. Beltrán Maza; M.P. Aguilera Herrera; M. Uceda Ojeda. Virgin Olive Oil Elaboration Process Optimization by Neural Network. Journal of Food Engineering. 95 (2009) 135-141
- A. Jiménez Márquez. Monitoring Carotenoid and Chlorophyll pigment in virgin olive oil by visible-near infrared transmittance spectroscopy. Application on-line. Journal of Near Infrared Spectroscopy. 11(2)(2003).
- A. Jiménez; A. Molina; M.I. Pascual. Application of NIR for quality virgin olive oil prediction. INTRADFOOD 2005. VALENCIA (2005).
- A. Jiménez; E. Izquierdo; F. Rodríguez; J.I. Dueñas y C. Tortosa. Determinación de la grasa y humedad en aceituna mediante medida de la reflectancia en el infrarrojo cercano. Grasas y aceites. 2000. Vol 51.
- A. Jiménez; G. Beltrán; M. P. Aguilera ; M. Uceda (2008). A sensor-software based on artificial neural network for the optimization of the olive oil elaboration process. Sensor & Actuators B 129.
- A. Jiménez; M. P. Aguilera; G. Beltrán; M. E. Escuderos; M. Uceda. Clasificación de los aceites 'on-line' en almazara mediante NIR. XIII SIMPOSIUM CIENTIFICO-TECNICO DE EXPOLIVA. Jaén (2007).
- A. Jiménez Márquez. Contribuciones al empleo de la espectroscopia en el infrarrojo cercano en el control de calidad del aceite de oliva virgen. Aplicación al análisis en línea en almazaras. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén. 2003.
- A. Jiménez; G. Beltrán; M.P. Aguilera; M. Uceda. Process 'on-line' prediction of shelf life and antioxidants in virgin olive oil by near infrared (NIR). EURO FOOD CHEM XIV. París (Francia) (2007).
- Automatización de almazaras. Controles experimentales para la caracterización y regulación del proceso de extracción. I.N.I.A. (CA097-015). 1997-2000. Manuel Hermoso Fernández.
- Estudio de nuevos factores de elaboración del aceite de oliva en dos fases y desarrollo de sensores para el control de productos. Integración para la optimización del proceso. C.I.C.YT.(OL96-2157-CO-02). 1997-2000. Manuel Hermoso Fernández.
- Estudio y aplicación de nuevas técnicas en la caracterización en línea del aceite de oliva virgen durante su producción en almazara. I.N.I.A. RTA01-128. 2004-2007. Antonio Jiménez Márquez.