

Sistema de Control y Optimización para el proceso de Elaboración del Vino [EnoSTAR]TM

NECESIDAD DE UN SISTEMA DE CONTROL.-

En los últimos años se ha realizado un esfuerzo dentro del sector productor de vinos con vistas a la mejora en las condiciones de elaboración y la calidad de los vinos obtenidos, mediante la modernización de las instalaciones empleadas y de los procesos de fabricación.

No obstante, poco se ha hecho en cuanto al control de dichos procesos, con la excepción del uso de sistemas sencillos de control de la temperatura de fermentación.

En este aspecto la situación tecnológica es claramente arcaica, pues se emplean pautas de control próximas a las de una práctica artesanal, muy lejos del gran desarrollo que este punto ha alcanzado en otros sectores productivos, aún dentro del sector agroalimentario.

Los crecientes requerimientos del mercado en cuanto a la exigencia de una mayor calidad en los productos ofertados, junto con un menor precio de éstos, obliga a una actuación en este doble sentido.

La automatización del control del proceso de elaboración, como herramienta para su optimización, puede convertirse en piedra de toque para la consecución de estos objetivos impuestos. Este control automatizado puede permitir la mejora de la calidad del producto a través del establecimiento de las condiciones óptimas de elaboración, y la reducción de costes de funcionamiento mediante el uso racional de los recursos necesarios.

Esta opción es también necesaria para aquellas empresas que contemplan la investigación e innovación tecnológicas como ventaja competitiva, así como en el caso (que no excluye al anterior) de grandes productores en los que el volumen de acciones necesarias para la realización de un control manual de los procesos y la gran cantidad de información asociada que han de procesar en tiempo real se convierten en un obstáculo tecnológico.

DESCRIPCION DEL SISTEMA.-

El control del proceso de fermentación en la elaboración del vino es crítico ya que determina la calidad aromática y parte de sus principales atributos de calidad, al mismo tiempo que condiciona su posterior evolución y el uso que se pueda hacer de él. El correcto control del proceso de fermentación también es esencial para que tenga lugar un eficiente uso de las instalaciones frigoríficas en estas industrias agroalimentarias, y por lo tanto de la energía que se consume en las mismas que puede suponer más del 50% de la energía eléctrica consumida en este tipo de industrias (López, 1992, 1995). Pero, también, un adecuado sistema de control permitirá el uso más racional de los propios depósitos de fermentación, y una cierta reducción de mano de obra en control del proceso de fermentación (Miller et al., 1994).

El parámetro fundamental de control del proceso de elaboración es la temperatura a la que tiene lugar el proceso. El carácter exotérmico de esta reacción requiere un enfriamiento del mosto en fermentación para evitar el sobrecalentamiento del mismo, lo que iría en detrimento de la calidad del vino al favorecerse la pérdida de aromas y el aumento de la acidez volátil. Al mismo tiempo la elevación de la temperatura puede provocar una parada en la actividad de las levaduras lo que daría lugar a mostos sin terminar.

La actuación propuesta se puede dividir en diferentes apartados cuya integración dotará al sistema de sus máximas prestaciones.

1. Sistema de supervisión en tiempo real del proceso de fermentación

Una de las misiones del sistema es la centralización de la información generada durante el proceso y la presentación en un formato "amigable" al operador. Esta información podrá estar disponible en los puntos de la planta que se desee mediante la instalación de una red informática, por ejemplo en la planta de fermentación, el laboratorio de control, la oficina técnica, etc.

La información disponible constará de:

- Estado en tiempo real de las variables de proceso medidas con sondas insertadas en el proceso: temperatura, nivel, volúmenes de producción, densidad.
- Valor de la densidad estimada por los modelos de fermentación desarrollados en el Dpto. de Tecnología de los Alimentos de la Universidad Pública de Navarra (ver apartado E). Estos modelos (desarrollados para vinos blancos) permiten estimar con un alto grado de exactitud parámetros del proceso de fermentación tales como la densidad, contenido en azúcares, velocidad de reacción y cantidad de CO₂ liberado partiendo de una información inicial de la concentración inicial de azúcares y la acidez total. La evolución de estos parámetros es estimada por el modelo simplemente conociendo la temperatura en cada momento y realizándose alguna corrección (1-2 veces a la largo de

todo el proceso) de la densidad estimada con la real determinada en el laboratorio. La principal ventaja de esta aproximación al problema de la monitorización en línea de estas variables reside en la total ausencia de instrumentación, lo cual presenta un evidente atractivo a la hora de minimizar los costes de esta instalación.

- Información analítica procedente del laboratorio que, vía teclado, será introducida en el sistema de supervisión de manera que toda la información generada pueda ser consultada simultáneamente, permitiéndose el seguimiento de la evolución de todas las variables de interés.
- Información del estado de operación de la maquinaria involucrada: marcha/paro de bombas de trasiego y remontado y de los motores de los difusores (en tintos), posición de las válvulas de control de los circuitos de refrigeración y de trasiego de pasta a los diferentes tanques.
- Información de las anomalías y alarmas detectadas en el proceso: desviaciones de los valores de las variables de sus consignas, fallos en el funcionamiento de la maquinaria.
- Información del grado de utilización de dicha maquinaria con fines de mantenimiento preventivo y correctivo.

2. Sistema de control del proceso de fermentación

La segunda misión fundamental del sistema es el control del proceso, de forma que éste tenga lugar en las condiciones previamente seleccionadas por el operador. Los elementos sometidos a control serán los siguientes:

- Llenado de los diferentes tanques de fermentación: esta acción implica una doble actuación, concretada en:
 - Control de las diferentes válvulas para el direccionamiento hasta el tanque deseado de la pasta impulsada por la bomba de masa.
 - Control de llenado del tanque basado en la información de la sonda de nivel instalada en cada depósito.
- Temperatura de fermentación, mediante el control sobre las válvulas que regulan el circuito de refrigeración de cada tanque. La temperatura podrá seleccionarse en diferentes formas:
 - Isoterma en todo el proceso.
 - Isoterma con modificación manual del valor de consigna durante el proceso.
 - Programada según pautas preestablecidas.
 - Programada según pautas de velocidad controlada

- Operación de remontado durante la maceración en tintos. Este control se realizará actuando sobre las bombas de remontado de cada tanque y sobre el difusor situado en la parte superior del mismo. Esta operación se podrá llevar a cabo de diferentes formas:
 - Manual, desde el puesto de operación
 - Con programación de intervalos fijos
 - Con programación de intervalos variables

3. Sistema de tratamiento de la información generada

Paralelamente a las posibilidades de seguimiento del proceso en tiempo real, se instalará un sistema de tratamiento de la información almacenada, lo que permitirá el estudio de la evolución de los parámetros en el tiempo, dependencia entre variables, deducción de relaciones causa-efecto, comparación de resultados obtenidos en diferentes condiciones de elaboración, etc. a lo largo de toda la campaña y con campañas anteriores.

4. Optimización global del proceso

Finalmente, la mejora en el control automatizado del proceso, junto con el establecimiento de las condiciones óptimas de trabajo en cuanto a calidad del producto obtenido, disminución de los requerimientos energéticos y racionalización del uso de las instalaciones permitirá optimizar el proceso en cuanto a su rendimiento económico.

OBJETIVOS CONSEGUIDOS.-

Los objetivos principales conseguidos con el sistema EnoSTAR son los siguientes:

1. Objetivos tecnológicos

- Aumento del control sobre el proceso de fermentación al disponerse de un control centralizado de variables del proceso (temperaturas, niveles de los tanques de fermentación).
- Ampliación de las posibilidades para la fermentación en diferentes condiciones gracias a la ayuda del sistema de control como, por ejemplo, la fermentación con programación de temperaturas (en blancos o tintos) o la programación de remontados (en tintos).
- Adquisición de información en tiempo real sobre la evolución del proceso.
- Centralización de esta información junto con la generada en el laboratorio de control.

- Mejora en la toma de decisiones al disponerse de una información fácilmente tratable, con la posibilidad de múltiples estudios (evolución de variables, correlación entre éstas).

2. Objetivos medioambientales

- Disminución del impacto sobre el medio de esta actividad productiva a través de la reducción de los requerimientos energéticos mediante la fermentación acelerada descrita anteriormente.

3. Objetivos industriales y económicos

- Racionalización del uso de la maquinaria de la industria vinícola (sistemas de bombeo, de frío, valvulería, etc.). Optimización de dichos recursos.
- Mejora en el mantenimiento preventivo y correctivo de estos equipos al disponerse de información sobre su grado de utilización.
- Aumento de la seguridad del proceso al estar éste bajo el control de un sistema de monitorización y control en tiempo real.
- Minimización de los errores introducidos por la intervención humana.
- Reducción de los consumos energéticos de esta actividad productiva, que se pueden estimar en torno a un 30 % mediante la fermentación controlada en las condiciones descritas en el apartado anteriormente.
- Como consecuencia de todo lo anterior, reducción de los costes de operación y, por tanto, incremento de los beneficios de esta actividad.

INNOVACIONES Y VENTAJAS DEL SISTEMA.-

La utilización de un sistema de monitorización y control en tiempo real, así como de estudio de la información a posteriori, reporta numerosas ventajas.

El aumento del control sobre el proceso de amplia las posibilidades para la fermentación en diferentes condiciones como, por ejemplo, la fermentación con programación de temperaturas (en blancos o tintos) o la programación de remontados (en tintos). Este factor permite controlar en mayor medida la calidad del vino inicialmente obtenido

La adquisición de información en tiempo real sobre la evolución del proceso, así como la centralización de esta información junto con la generada en el laboratorio de control permite una mejora en la toma de decisiones al disponerse de una información fácilmente tratable, con la posibilidad de múltiples estudios (evolución de variables, correlación entre éstas).

En el aspecto de la gestión de los recursos empleados se posibilita la racionalización del uso de la maquinaria, así como una mejora en el mantenimiento preventivo y

correctivo de estos equipos al disponerse de información sobre su grado de utilización, alarmas generadas, fallos producidos, etc. Todo ello aumenta la seguridad del proceso, al mismo tiempo que se minimizan los errores introducidos por la intervención humana.

En el aspecto económico se reducen de los consumos energéticos de la etapa de fermentación, que junto a todas las ventajas anteriormente expuestas, incrementarán de los beneficios de esta actividad.

TECNOLOGÍAS APLICADAS.-

En la actualidad no existen comercializados sistemas de control como EnoSTAR, con excepción de los ya comentados sistemas sencillos de control de la temperatura de fermentación.

Por lo que respecta a la monitorización en línea del proceso de fermentación, se han estudiado distintas propiedades o parámetros de evolución del proceso de fermentación en bodegas como la densidad, pH, presión diferencial, evolución del CO₂, y generación de calor -o exotermas-, etc.(Cumberland et al., 1984; Daoud et al., 1989; Daoud y Searle, 1990; Moll et al., 1978; Ruocco et al., 1980; Stassi et al., 1987 1991; Sugdem, 1993; Miller et al., 1994; Boulton, 1980; Bovée et al., 1984; Barre y Sablayrolles, 1986)),

Además, en ocasiones se habla del interés de controlar no solo la temperatura de fermentación sino también la velocidad de desarrollo de la fermentación. Sablayrolles et al., (1991) han propuesto un procedimiento de control de la velocidad de fermentación para tratar de evitar paradas de la fermentación al final del proceso. Pero el procedimiento de control que proponen es relativamente rígido, ya que no implica una disminución del tiempo de permanencia del mosto en el tanque de fermentación para un mosto normal, y además proponen realizar la fermentación en condiciones isotermas o según un programa de temperaturas rígido (Sablayrolles y Barre, 1989). Por lo anterior, este procedimiento de control tiene una aplicación muy limitada.

Como la velocidad de fermentación y la propia cinética de desarrollo de la misma determinan el consumo de frío en el proceso (López y Secanell, 1992) parece lógico pensar que se pueda actuar sobre la cinética de fermentación de modo que, cumpliendo con unas restricciones de temperatura máxima y mínima, se consiga una máxima rapidez de proceso y un consumo energético mínimo, tratando de racionalizar al mismo tiempo el consumo de frío, con lo que se podría racionalizar también la producción del mismo en la bodega. Apoyándose en estos principios, se ha desarrollado un prototipo del sistema de control borroso del proceso de fermentación alcohólica, que se basa en un modelo matemático cinético y térmico del proceso de fermentación (López et al., 1995; Martínez et al., 1996). Este sistema de control simulado solo tiene en cuenta como parámetro observado la evolución de la temperatura de fermentación, y el tiempo transcurrido desde el comienzo de la misma, pero también maneja internamente la situación en cuanto a velocidad de fermentación.

El desarrollo del sistema de control se ha realizado mediante simulación por ordenador de la fermentación y del propio sistema de control y se ha realizado unas experiencias de validación a nivel de planta piloto, pero se ha observado que se ha de afinar el conocimiento del propio modelo cinético y térmico. No obstante, se ha podido comprobar que se pueden conseguir ahorros energéticos importantes con la aplicación de este sistema de control. La calidad obtenida con este sistema de control es similar a la obtenida con la fermentación isoterma. Estos modelos se encuentran en proceso de patente.

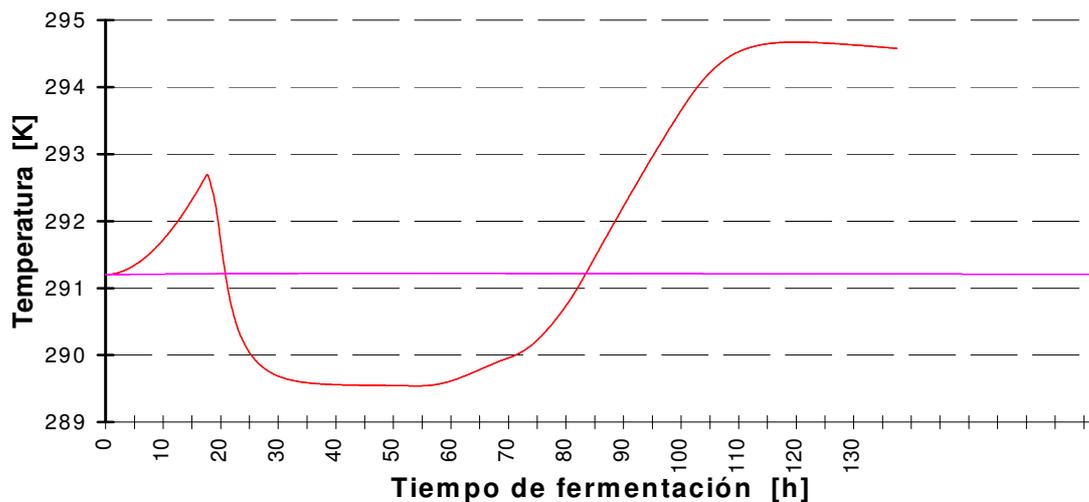
Figura 1


Figura 1. Comparación de la temperatura de trabajo en condiciones de temperatura controlada (línea roja) y velocidad controlada (línea marrón).

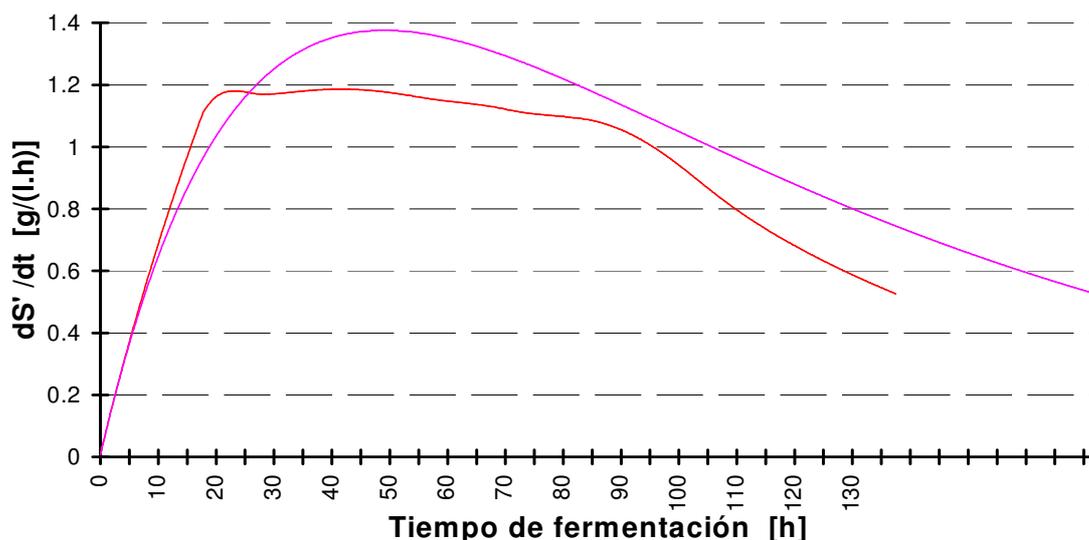
Figura 2


Figura 2. Comparación de la velocidad de reacción en condiciones isotérmicas (línea roja) y de velocidad controlada (línea marrón).

Figura 3

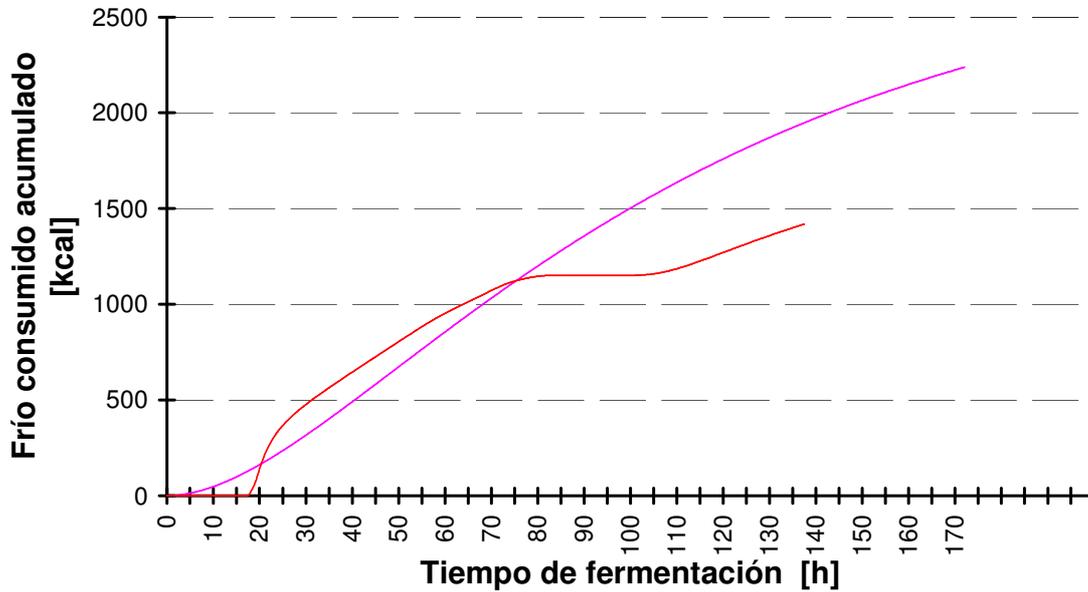


Figura 3. Comparación del consumo total de frío en condiciones isotérmicas (línea roja) y de velocidad controlada (línea marrón).

Figura 4

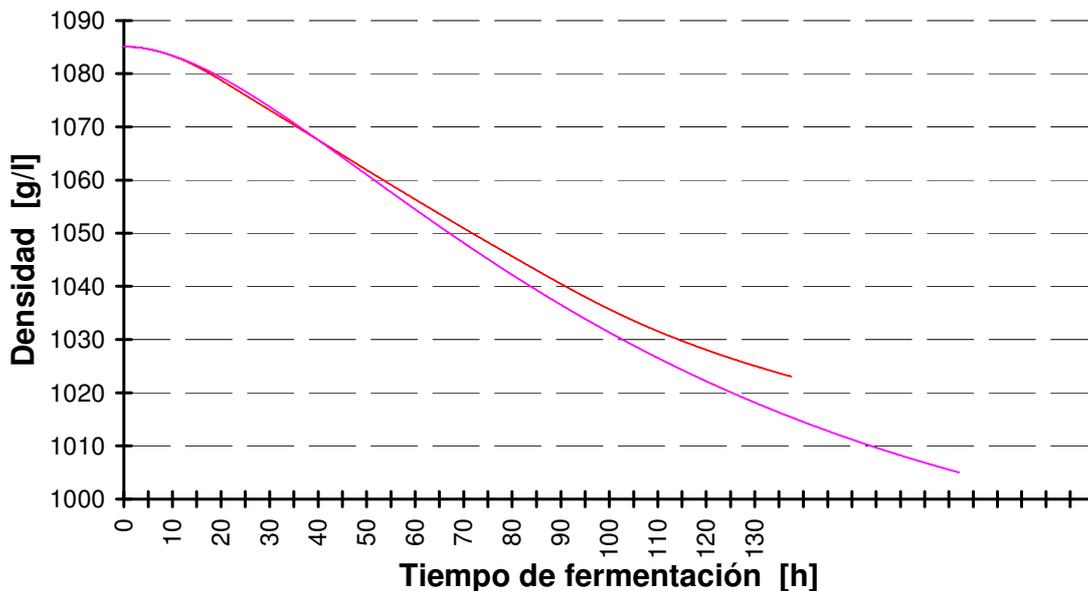


Figura 4. Predicción de la evolución de la densidad en condiciones isotérmicas (línea roja) y de velocidad controlada (línea marrón).

La filosofía de control propuesta, basada en el empleo de Lógica Difusa, ha sido ampliamente difundida y contrastada en nuestro país por Indea Technologies fundamentalmente en el sector del aceite de oliva, en el que ocupa una posición absolutamente predominante. Los sistemas de control desarrollados en este campo han dado lugar a siete patentes.

En los últimos años la Lógica Difusa, como herramienta del Razonamiento Aproximado, ha encontrado numerosas aplicaciones que van desde el campo de las finanzas hasta la ingeniería de terremotos. Todas ellas corresponden a problemas muy complejos o mal conocidos que por ello no admiten tratamiento por métodos basados en la Lógica Clásica. De hecho la introducción de la Lógica Difusa ha permitido modelizar y resolver situaciones tradicionalmente consideradas como intratables, y en este sentido ha constituido una revolución en muchos campos.

Puede considerarse que la Lógica Difusa surgió como respuesta a la necesidad de disponer de modelos de inferencia para tratar el conocimiento impreciso básicamente en el contexto de la construcción de Sistemas Expertos. Sin embargo, actualmente su mayor, más conocida y notable aplicación es en el control de procesos.

RELACIÓN DE APARATOS Y EQUIPOS.-

Los equipos necesarios para la implantación del Sistema EnoSTAR son los siguientes:

1. Sensores en línea

Tienen como misión proporcionar información en tiempo real sobre el valor de las variables de proceso. Fundamentalmente consistirán en sondas de temperatura y de nivel, para el control del llenado de los tanques. En uno o varios tanques se instalarán sondas de presión diferencial para el estudio de su capacidad de medida de la densidad del mosto en fermentación, así como sensores de caudal de gas para la medida del CO₂ liberado como medio de seguimiento del proceso de fermentación.

2. Automatas

Tienen una doble misión: por un lado, recibir la información suministrada por los sensores instalados en el proceso; por otro, gobernar el funcionamiento de la maquinaria sometida a control. Físicamente están compuestos por un PLC (Controlador Lógico Programable) y una serie de diferentes tarjetas de entrada/salida de señales-acción de mando acopladas.

Simultáneamente contienen los algoritmos y lazos de control del proceso, así como la lógica difusa aplicada. Finalmente, se comunican con el sistema informático para la transmisión bidireccional de información.

3. Sistemas informáticos

Permiten la interacción del operador con el sistema de control en un doble sentido, mediante la presentación de la información asociada al proceso y permitiendo al operador establecer las condiciones de elaboración sujetas a control, ambos casos en tiempo real.

Por otro lado realizan el almacenamiento de toda la información asociada al proceso, lo que permite su tratamiento y estudio posterior.

Están compuestos por varios ordenadores conectados entre sí mediante una red que se comunica con el autómata a través de uno de ellos.

El número de estos equipos variará según las características de la instalación y se definirán en la Oferta Económica.

BIBLIOGRAFÍA

De Rosa, T. Tecnología del Vino Tinto. De. Mundi-Prensa, 1.988.

López, A and Secanell, P.A. 1992. "A simple mathematical empirical model for estimating the rate of heat generation during fermentation in white wine making". *Int. J. Refrig.* 15(5):1-5.

López A., G. Martínez, A.Casp, J.M. Sandoval, Procedimiento de control borroso del proceso de fermentación alcohólica, Patente Española, P95 01130.

Madrid, A. Manual de Enología práctica. Ed., Madrid Vicente, 1.984.

Martinez, G., López, A., Arocena, I., Lacarra, G. 1996. "Fuzzy Control Procedure for must fermenters in alcoholic beverages making." *IFSICC-96*, Maui,USA.

Peynaud, E. Enología Práctica. De. Mundi-Prensa 1.984.

Stassi, P., Rice, J.F., Kieckhefer T.J. and Munroe, J.H. 1989. "Control of fermentation foaming using temperature profiling". *MBAA Technical Quarterly*, 26: 113-122.

Troost, G. Tecnología del Vino. Ed. Omega, 1.984.

Villota, R and Hawks, J.G. 1992. "Reaction Kinetics in Food Systems". In *Handbook of Food Engineering*, 39-144. Heldman, D.R. and Lund D.B. (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York.

Vogt, E. El Vino: Obtención, elaboración, análisis. De. Acribia, 1.984.