

## Control Automatizado de una Planta Semi-comercial para la Elaboración de Bacanora

Guzmán-Ortiz J. M.<sup>1\*</sup>, Rentería-Martínez M. E.<sup>2</sup>, Ochoa-Meza A.<sup>2</sup>, Rodríguez J. C.<sup>2</sup>,  
Moreno-Salazar S. F.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

<sup>2</sup>Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora.

\* [jmguzman@guayacan.uson.mx](mailto:jmguzman@guayacan.uson.mx)

**RESUMEN.** La producción de bacanora en Sonora data desde finales del siglo XVIII. La única especie reconocida por la norma oficial para su elaboración es *Agave angustifolia*. La producción de esta bebida estuvo prohibida hasta el año de 1992. Desde entonces se han realizado algunos esfuerzos a fin de domesticar a la especie y consolidar su industrialización. En el presente trabajo se detalla la instalación y operación de un sistema de control de las variables de operación en una planta de elaboración de bacanora a nivel semi-comercial. La finalidad es obtener un producto de calidad estándar. La planta se diseñó, construyó e instaló de acuerdo a las operaciones unitarias de recepción de materia prima, pesado, reducción de tamaño, cocción, molienda, fermentación y doble destilación. Se instaló un controlador OCS (Operation Control Station) conectado a una PC Desktop, a fin de operar y monitorear automáticamente las operaciones de cocción, fermentación y destilación. Toda la operación de la planta está soportada por una fuente de energía trifásica que abastece al Centro de Control de Motores (CCM), el cual regula el sistema de fuerza de los equipos a través de una estación de botones. Con el funcionamiento automatizado de los equipos principales se logró el uso eficiente de insumos como gas L.P., agua de enfriamiento/calentamiento y energía eléctrica; lográndose además un producto final con características organolépticas similares al bacanora artesanal. El sistema de control es amigable con el operador, ya que no requiere de personal especializado y solo se emplearon dos personas para operar todo el proceso.

**Palabras clave:** agave, planta piloto, fermentación, bacanora.

**SUMMARY.** Bacanora production in the State of Sonora dating from the late eighteenth century and the only agave species recognized by the official standard for its production is *Agave angustifolia* Haw. The production of this drink was banned until 1992. Since then

there have been some efforts to domesticate this species of agave and consolidate their industrialization. In this technological research details the installation and operation of a control system operating variables in a processing plant bacanora semi-commercial level. The aim is to obtain a standard quality product. The plant was designed, built and installed according to the process operations of receipt of raw materials, weigh, size reduction, cooked, shredded and crushed heads, fermentation and double distillation. Controller was installed OCS (Operation Control Station) connected to a desktop PC, to automatically operate and monitor the process operations cooked, fermentation and distillation. The entire operation of the plant is supported by a three-phase power source that supplies the motor control center (MCC), which regulates the power system equipment through a station buttons. With the automated operation of the main equipment was achieved efficient use of inputs such as LP gas, water cooling / heating and electric energy addition to achieving a final product with organoleptic characteristics similar to traditional bacanora. The control system is friendly to the operator, which does not require specialized personnel and used only two people to operate the process equipment.

**Key words:** Agave, pilot plant, fermentation, bacanora

## INTRODUCCIÓN

El bacanora es una bebida destilada que se elabora exclusivamente en 35 municipios del estado de Sonora a partir de los mostos fermentados de *Agave angustifolia* Haw. Actualmente es elaborado bajo condiciones rudimentarias lo que genera productos de calidad muy variable, aún entre un mismo productor. Entre las investigaciones que se han venido realizando por los autores con el fin de alcanzar la producción industrial de bacanora, está la construcción de una planta piloto, en la que se ha podido obtener un producto final de calidad aceptable. Para su diseño se analizaron las operaciones y procesos unitarios del método artesanal de elaboración de la bebida, introduciendo cambios sustanciales en tecnificación, manejo, automatización y control a fin de hacerlos más eficientes. Las operaciones básicas involucradas en este proceso son las siguientes:

1. Pesado y reducción de tamaño de la materia prima.
2. Cocción
3. Extracción de jugo por molienda en húmedo.

4. Fermentación

5. Destilación

## MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción general del proceso:

Las piñas de *Agave angustifolia* Haw llegan directamente del campo a la planta piloto y son pesadas en una báscula Torrey digital con capacidad de 500 kg. Es necesario ajustar el tamaño de las piñas mediante una sierra de cinta para introducirlas al molino, una vez que han sido cocidas. El proceso de cocción se lleva a cabo en una autoclave provista de aislamiento térmico con fibra de vidrio y de diseño propio fabricada en lámina SS#304 con espesor de placa de 6 mm con capacidad de 500 kg. Esta autoclave está equipada con: 1) Quemador de gas butano de 200 000 BTU, 2) Sistema para inyección de vapor saturado, 3) Control para operación manual o automática a través de un controlador de temperatura marca Honeywell. 4) Válvula de seguridad regulada a 2 kg/cm<sup>2</sup> o 25 lb/pulg<sup>2</sup>. 5) Termómetro de carátula para monitoreo visual del proceso. Consta de una conexión para un detector resistivo de temperatura (RTD) para monitorear la operación desde un módulo de control electrónico que recibe una señal analógica o digital y puede ser monitoreado desde cualquier parte a través de un puerto de Ethernet y una interfase virtual hombre máquina (MHI, Machine Human Interfase) que se conecta a una PC a través de internet. Este módulo está ubicado en la planta piloto y tiene la posibilidad de controlarse desde cualquier lugar donde esté disponible una conexión a internet. La interfase virtual se elabora con un programa gráfico Mat Lab o Lab View o cualquier otro software que maneje instrumentos virtuales.

Posterior a la cocción se realiza la molienda en un molino de martillos vertical húmedo con control manual construido en lámina calibre 10 acero # SS-304 con capacidad para 1 ton/h. Éste está equipado con: 1) Motor de 10 HP 220/ 3 fases, 2) Cedazo hecho en lámina calibre 10 con perforaciones de ½ pulg en SS-304, 3) Tina móvil colectora de jugo, con filtro malla removible fabricado en lamina calibre 16 SS-304.

Con el fin de aumentar la cantidad de sólidos solubles se realiza la compresión del bagazo recién molido en una prensa hidráulica tipo pistón de control manual para extraer la máxima cantidad de jugo posible.

El proceso de fermentación ocurre en un biorreactor de temperatura controlada de diseño propio construido en lámina SS-304 calibre 14 con capacidad máxima de 500 L de líquido más espacio de cabeza de 1/3 de la capacidad de volumen a fermentar. Cuenta con entrada de jugo de ¾ de pulg y salida del líquido fermentado de 1 pulg, drenaje para limpieza de 4 pulg en el fondo del equipo con válvula mariposa, chaqueta de calentamiento o enfriamiento para mantener temperatura de operación desde 12 hasta 35 °C, entrada hombre superior para mantenimiento y limpieza, mirilla de 10 cm de diámetro para supervisión ocular del proceso de fermentación y 3 puntos de muestreo acoplado con moto reductor de ½ HP 220 trifásico con paletas intercambiables. Adaptado con sensores RTD para el control automático de la temperatura, usando un controlador electrónico programable con el software libre Cscape.

La destilación se lleva a cabo en un destilador de doble propósito: batch (tipo alambique) y continuo (tipo torre de destilación) construido en Lámina SS-304 calibre 12 con capacidad de 350 litros por lotes y de 350 l/h en modo continuo. El destilador está equipado con: 1) un quemador de 200 000 BTU de gas LP, 2) una torre de platos para una operación continua, removible para operar por lotes tipo alambique, 3) Adaptador para operación manual, 4) Adaptador para operación automática a través de sensores de temperatura RTD programados a través de un controlador electrónico que usa el software libre Cscape. 5) Controlador electrónico miniOCS con entradas analógicas digitales y un módulo de relevadores para el control y operación de los diferentes dispositivos

La instalación eléctrica requiere de voltaje 110 y 220 monofásico y trifásico, protegida con tierra física externa y aislada con tubería conduit TW Interruptor principal y centro de carga localizados dentro del CCM (cuarto de control de máquinas) así como de un panel de control. La planta piloto se controla por medio de un tablero que incorpora un arrancador termo magnético acoplado a una estación de botones para cada una de las operaciones unitarias siguientes: molienda, bombeo, fermentación y enfriamiento de agua de condensación (Fig. 1).

### **Control electrónico**

Consta de sensores de temperatura resistivos (RTD) modelo J con rango de temperatura de  $-20$  a  $400$  °C y un rango de error de  $\pm 1$  °C para monitorear la temperatura de operación en autoclave,

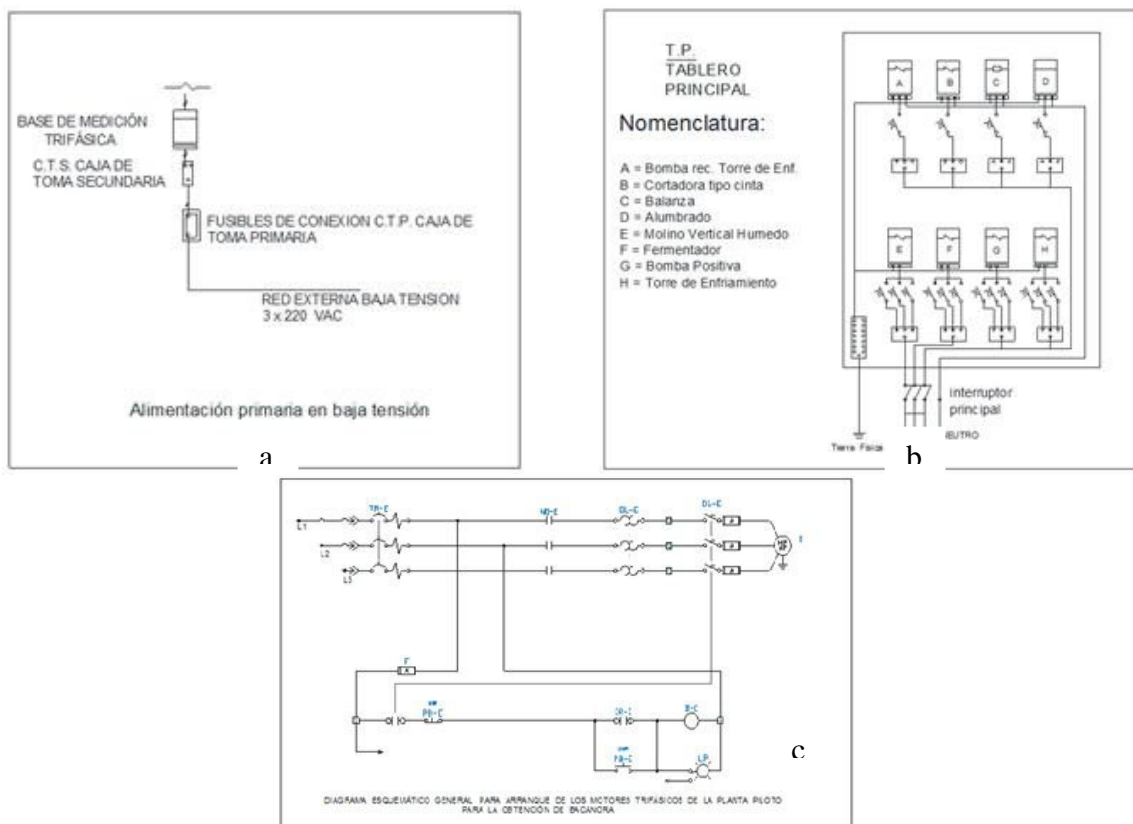
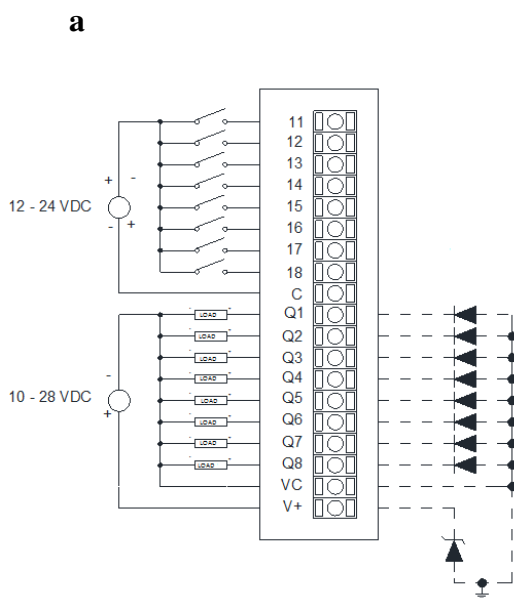
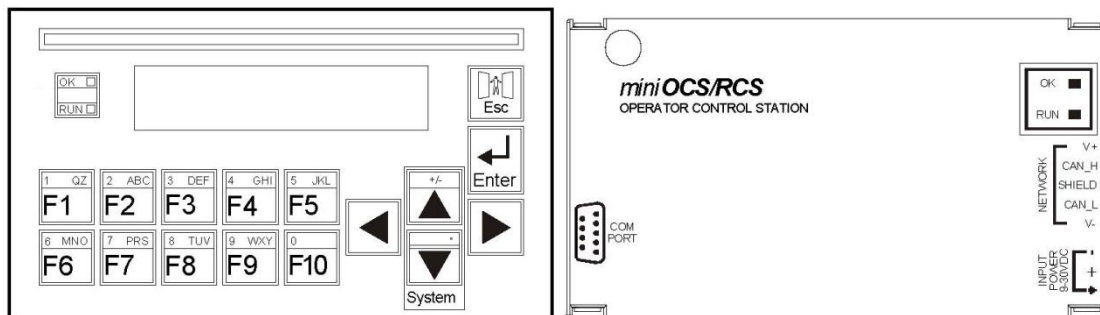


Fig. 1. a) Diagrama eléctrico general, b) Tablero principal, c) Diagrama de control eléctrico fermentador y destilador. El RTD del autoclave registra la temperatura de la cámara de vapor por lo que está ubicado en parte superior de la misma. Los RTD del fermentador están ubicados de la siguiente manera: uno para registrar la temperatura del líquido fermentado y el otro para la temperatura del líquido de la chaqueta. El destilador consta de 3 RTD ubicados de la siguiente manera: Uno para monitorear el líquido en la cámara que contiene el jugo fermentado. Otro en la parte superior donde salen los vapores a condensar y un tercero ubicado en la parte intermedia de la torre de platos para detectar la temperatura del vapor cuando se opera en modo continuo. Cada uno de los RTD, están situados en un termopozo inundado con glicerina para evitar el contacto del sensor con el

fluido cuya temperatura se desea registrar. La información registrada por cada sensor es enviada a través del miniOCS (Figura 2) a una PC localizada en el CCM por medio de una conexión física RS232. También es posible hacer la comunicación a través de una red inalámbrica conectando la salida RJ45 del miniOCS a un módulo inalámbrico que envíe la información directamente a la PC a través de una dirección IP o una dirección de internet lo cual hace posible el monitoreo y control manual y automático de las temperaturas del proceso.



PIN	SEÑAL
11	ENTRADA RTD 1
12	ENTRADA RTD 2
13	ENTRADA RTD 3
14	ENTRADA RTD 4
15	ENTRADA RTD 5
16	ENTRADA RTD 6
17	ENTRADA RTD 7
18	ENTRADA RTD 8
C	COMUN
Q1	SALIDA 1
Q2	SALIDA 2
Q3	SALIDA 3
Q4	SALIDA 4
Q5	SALIDA 5
Q6	SALIDA 6
Q7	SALIDA 7
Q8	SALIDA 8
VC	COMUN
V+	VOLTAJE DE CARGA +

Fig. 2. a) Parte frontal y posterior del Mini OCS Operator Control Stations. b). Esquema del circuito interno y conexiones al Mini OCS que indica la señal de E/S del RTD correspondiente a cada PIN.

Este compacto sistema de fácil operación, con pantalla LCD de 2x20 cm y teclado con 17 teclas que se sienten al tacto, combina un controlador, una interfaz de operador, E/S de datos hasta una pila de 4 conjuntos y la creación de redes CsCAN para ayudar a reducir los costos de control.

El Mini OCS tiene un motor de control que se basa en la programación en lenguaje escalera, además cuenta con un procesador Intel con una velocidad comparable a la mayoría de los PLCs de tamaño mediano. El conjunto de instrucciones incluye matemáticas de punto flotante, PID, los comandos de movimiento y manipulación de datos. Tiene un puerto serial RS-232 y soporta CsCAN, comandos de Maestro/Esclavo y Leer/Escribir ModBus. Más, un puerto opcional CAN que soporta CsCAN y un Esclavo deviceNet. Fácil de programar con el software de programación Cscape que combina una programación gráfica de diagrama tipo escalera (compatible con IEC-1131), con funciones de red e interfaz de usuario HMI.

## RESULTADOS

Se realizó una primer corrida con 200 kg de agave para hacer pruebas de arranque de la planta piloto. Esto permitió ver la operación de cada equipo y sus fallas.

**Autoclave:** Se presentaron fugas de vapor en la tapa del autoclave debido a que el empaque no resistió la temperatura y presión a la que fue sometido, hecho que monitoreado a través del Mini OCS y se comprobó el correcto funcionamiento del controlador de temperatura Honeywell. Para casos de falla del controlador en el autoclave, se cuenta con un válvula de seguridad diseñada específicamente para este equipo en particular para desfogar la máxima cantidad de vapor para eliminar el riesgo de estallamiento.

**Molino:** La fibra obtenida en esta etapa retuvo mucho jugo lo que hizo necesario el diseño de un filtro prensa para extraer la máxima cantidad de jugo retenido en la fibra. Tanto el filtro prensa como el molino son de operación manual. Sin embargo con un sensor adecuado se pueden monitorear los cojinetes del motor del molino a través del miniOCS para cuestión de mantenimiento preventivo.

**Fermentador:** Los jugos obtenidos son enviados al fermentador por medio de una bomba positiva de engranes. Se empleó como inóculo levadura enológica comercial a una concentración de 250 ppm. El tiempo de fermentación fue determinado mediante monito

fue de 5 días. El fermentador cuenta con un agitador de paletas para homogeneizar el contenido. Su operación puede ser programada por tiempos determinados y a intervalos regulares, aunque en esta corrida de arranque se operó manualmente. También está provisto de una chaqueta de enfriamiento que opera mediante un sensor de temperatura RTD en contacto con el medio líquido interno. La temperatura máxima en el exterior fue de 3 °C, pero dentro del fermentador se requería 20 °C, lo que hizo necesario la entrada del control automatizado para permitir que la chaqueta se llenara con agua proveniente de la torre de enfriamiento, operación que ocurrió sin contratiempos.

**Destilación:** Los mostos fermentados se envían al destilador para separar las fracciones adecuadas. La temperatura en este equipo es monitoreada a través de un sensor RTD. El desempeño de este equipo fue adecuado, lo que permitió recoger las fracciones adecuadas.

**Corrida de operación:** Una vez corregidos el problema presentado en la corrida de arranque, se realizó una corrida de operación. Se comprobó el funcionamiento adecuado de toda la planta mediante el monitoreo visual y automatizado de los equipos, obteniendo un producto final de con una concentración de alcohol de 48 °G L. Este producto fue sometido a valoración de sabor y olor con jueces no entrenados que determinaron que el producto tenía características organolépticas similares a un bacanora tradicional.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El monitoreo automatizado permitió controlar continuamente las variables del proceso de elaboración de bacanora en una planta piloto en tiempo real. Se recomienda colocar un sensor diferencial RTD en el fermentador en lugar del sensor RTD común, para obtener una temperatura promedio que active el agitador cada vez que sea necesario y durante el tiempo predeterminado de agitación son crear condiciones aerobias. En el fermentador es necesario colocar un serpentín con refrigerante que permita disminuir la temperatura del agua de la torre de enfriamiento para aumentar la eficiencia de la chaqueta de enfriamiento en el caso de que se trabaje durante el verano, ya que las temperaturas a la sombra oscilan entre 43-47°C



## LITERATURA CITADA

Perry, R. H., Perry R. R., Green D. W. 2001. Manual del Ingeniero Químico. Mac Graw Hill.

Gregory K. McMillan G.K., Considine, D. M Process/industrial instruments and controls handbook. 1999. Mac Graw Hill.

Foust W. 1988. Principios de operaciones unitarias. Ed. Continental.