

# Mini Destilería Modular para Producción Agroindustrial de Bioetanol Mediante Proceso de Molienda Seca con Sistema de Cocción Fría

**Resumen:** Se presentan las principales características de la primera mini-destilería para producción agroindustrial de bioetanol de proceso de molienda seca con sistema de cocción fría que fue desarrollada en forma conjunta por profesionales del área de ingeniería de proyectos de Porta Hnos. S.A. e investigadores del GISIQ de la FRVM. Esta fue construida y puesta en marcha por la empresa y se ofrece como una alternativa tecnológica de bajo costo para el procesamiento de maíz u otros cereales, que opera en el lugar de producción de la materia prima, resultando una opción atractiva para áreas agrícolas distantes, en las cuales los costos de transporte desalientan su producción.

La puesta a punto de la etapa de cocción fría para el proceso fue desarrollada de manera experimental. Como conclusiones se destaca la eficiencia alcanzada, su autonomía de operación y la demanda un mínimo requerimiento de personal con un entrenamiento básico para su manejo.

**Palabras Claves:** Mini-destilería; Bioetanol; Proceso de molienda seca, Cocción fría.

**Abstract:** The main features of the first mini-distillery for production of bioethanol agroindustrial dry milling process with cold cooking system are presented. The mentioned plant was developed in association with professional engineers of the project area of Porta Hnos SA and investigators from the GISIQ of FRVM.

The mini-distillery was built and started by Porta Hnos SA and it is offered as an alternative technology for low-cost processing of corn and other cereals. It operates in the same place of production of the raw material, resulting in an attractive option for remote agricultural areas in which transportation costs discourage their production.

The development stage for the cold cooking process experimentally was developed. As the main conclusions reached are efficiency, the autonomy of operation and the demand of a minimum requirement of staff with basic training for management stands.

**Keywords:** Mini-distilleries; bioethanol; Dry milling process, Cold cook.

Luis A. Tosell<sup>(1)</sup>, Augusto O. Gallardo<sup>(2)</sup>, Diego M. Bosco<sup>(2)</sup>, Romina A. Beltran<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Inv. en Simulación para Ing. Química, GISIQ, FRVM de la UTN, Av. Universidad 450, Villa María, Argentina.

<sup>(2)</sup>Ingeniería de proyectos. Área de investigación y desarrollo, Porta Hnos S.A., Camino a San Antonio km 4,5, Córdoba, Argentina.

Mail: [toselli\\_l@frvm.utn.edu.ar](mailto:toselli_l@frvm.utn.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### Consideraciones Generales

En este trabajo se presenta el desarrollo y puesta en marcha de una mini destilería para la producción de bioetanol de 96° GL mediante el proceso de molienda seca. La misma cuenta con una capacidad 5600 m<sup>3</sup>/año a partir de maíz como materia prima, aun cuando existe la posibilidad de emplearla con otro tipo de cereales con un adecuado contenido de almidón en su composición.

El objetivo de este desarrollo es la disponibilidad de una destilería modular para producción agroindustrial localizando las mismas in situ, esto es en el lugar de obtención de la materia prima. Esto permite la obtención de beneficios económicos en áreas agrícolas que se encuentran alejadas de puertos y/o centros de acopio, razón por la cual, los costos del transporte presentan un alto impacto tornándola en antieconómica y desalentando su producción.

El empleo de tales plantas modulares hace posible dar valor agregado a la producción primaria generando además subproductos como los granos húmedos de destilería - GHD- (restos sólidos no fermentables con alto contenido proteico, habitualmente denominado burlanda húmeda) que es utilizado para alimentación animal integrando en forma global su aprovechamiento en el lugar de producción.

La misma, aun cuando responde a un proceso clásico, cuenta con avances tecnológicos como la aplicación del sistema de cocción fría mediante la utilización de enzimas específicas de última generación. La fermentación progresa inicialmente en modo combinado de liquefacción, sacarificación y fermentación simultánea (LSFS) concluyendo luego como sacarificación y fermentación simultánea (SFS), pudiendo operar tanto en modo batch como continuo.

La planta se encuentra completamente automati-

zada, demandando un bajo nivel de supervisión y no requiere de personal altamente capacitado para su funcionamiento.

### METODOLOGÍA

Se procedió al desarrollo tecnológico y puesta en marcha de esta primera mini-destilería modular en la cual se trabajó conjuntamente con profesionales de ingeniería de proyectos, área de investigación y desarrollo, de la empresa Porta Hnos. S.A.; en el contexto de actividades propias del convenio establecido entre ésta y la Facultad Regional Villa María de la UTN. Por cuestiones de confidencialidad se presenta un trabajo de tipo descriptivo, acotando el tipo de información que se suministra a efectos de preservar datos técnicos que resultan sensibles para la empresa.

Se realizaron actividades específicas referidas a la síntesis del proceso, balances de masa y energía, además del diseño de equipos de separación y transferencia. El desarrollo experimental del sistema de cocción fría, montaje, adopción y construcción de equipos, implementación de los sistemas de control, servicios auxiliares e instalaciones de seguridad de la planta fue llevado a cabo por un grupo de profesionales de formación multidisciplinaria del área antes citada. La inversión necesaria para su desarrollo integral y puesta en marcha fue realizada por la empresa.

En la actualidad la misma se encuentra completamente operativa respondiendo a los requerimientos y objetivos que fueron propuestos para su desarrollo.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Proceso de Obtención del Mosto de Fermentación Mediante Cocción Fría

En un proceso tradicional de producción de alcohol de maíz por molienda seca, luego de la rotura del grano y liberación del almidón, este es convertido en dextrinas en una secuencia de licuefacción mediante el uso de enzimas alfa amilasas que trabajan a 85°C durante 2-3 horas. Luego se hidrolizan las dextrinas en azúcares y estas convertidas a etanol y dióxido de carbono en un proceso de sacarificación y fermentación simultánea (SFS) mediante el agregado de glucoamilasas y levaduras. (Begea et al., 2010) (Devantier et al., 2005).

Con la metodología de cocción fría (Cold Cook) la pulverización del grano se realiza mediante un molino de martillos hasta alcanzar una granulometría inferior a la del proceso tradicional de la molienda del maíz. Luego se produce la mezcla de la harina de maíz en agua, a una temperatura inferior a la gelatinización del almidón y se ajusta la acidez del medio en valores que no fomenten la proliferación microbiana, agregándose la enzima alfa amilasa que trabaja a bajo pH para comenzar la degradación de su estructura. La misma es una endoamilasa que hidroliza aleatoriamente enlaces glucosídicos alfa-1,4 de almidón gelatinizado y granular, produciendo dextrinas y oligosacáridos solubles. La misma puede considerarse como una primera etapa de cocción, la operación se puede realizar en un rango amplio de bajas temperaturas (Wang et al., 2007). En la tabla 1 se presenta un resumen de los diferentes parámetros de la primera etapa del proceso de cocción en frío.

Al concluir la primera parte de esta operación se procede al enfriamiento del mosto y al agregado de la segunda enzima hidrolizante mixta que contiene alfa y glucoamilasas que trabajan combinadas para la producción del sustrato para su conversión final a glucosa. La endo-actividad de la alfa-amilasa y exo-actividad de la glucoamilasa catalizan una hidrólisis completa permitiendo alcanzar una

amplia variedad de condiciones para producir la fermentación alcohólica.

Rangos de operación de variables	
Temperatura de cocción	50 a 65 °C
Concentración de sólidos	25 a 31 % p/p
Tiempo	3 a 4 hs.
pH de trabajo	4 a 4,4
Enzima	Alfa amilasa
Dosis	Valor promedio del rango establecido en las especificaciones técnicas

Tabla 1. Resumen de los principales parámetros de proceso al inicio de la cocción fría.

Por lo antes expuesto se puede hablar ahora de la existencia de una segunda etapa de cocción fría, aún a menor temperatura, pudiendo observarse una continuidad de la licuefacción del almidón, por las características mixtas que presenta la enzima, que se realiza en forma paralela con la sacarificación y fermentación (DuPont 2013), por lo que correspondería hablar con mayor propiedad de una operatoria global de tipo LSFS durante las primeras veinticuatro horas hasta que concluye la degradación completa del almidón, respondiendo en adelante con un comportamiento clásico de un sistema SFS.

Simultáneamente se adiciona una proteasa fúngica ácida que, entre otros factores favorables al proceso, permite mayores rendimientos y tasas de fermentación rápidas como resultado del almidón liberado de matrices de proteínas y una mayor nutrición de las levaduras por los aminoácidos específicos, así como di y tripéptidos, reduciendo la cantidad de nitrógeno necesarios en la fermentación. Esta se inicia con el agregado de levaduras hidratadas de alto rendimiento. En la tabla 2 se muestra un resumen de los parámetros de esta etapa.

Rangos de operación de variables	
Temperatura de fermentación	33 °C
Tiempo	60 hs. máximo
pH de trabajo	< 4
Enzima agregadas	Alfa y glucoamilasa - proteasas
Levaduras	Levaduras seca específicas previamente rehidratadas
Dosis	Valores promedios del rango establecido por las especificaciones técnicas del producto
Rendimiento	> 90 %
Grado alcohólico alcanzado	13 – 14° GL

Tabla 2. Resumen de los principales parámetros de la etapa combinada LSFS - SFS.

Concluida la fermentación se han obtenido concentraciones finales de etanol comprendidas entre el 13 a 14° GL. Alcanzando rendimientos de operación superiores al 90 %.

### Características Generales de la Planta

El maíz es enviado por un tornillo transportador a la tolva de carga, de la cual se alimenta el molino de martillo como se muestra en la figura 1.

El material molido es llevado a dos tanques de cocción gemelos de 1,8 m<sup>3</sup> de capacidad por un sinfín dosificador. En los mismos se produce el mezclado del material con agua regulándose de este modo el contenido de sólidos. Posteriormente, se adiciona la primera dosis de enzima para obtener el mosto parcialmente hidrolizado.

Previamente este es enfriado en un intercambiador de tipo espiral hasta la temperatura requerida para el inicio de la siguiente etapa, desde donde es alimentando en forma secuencial a tres fermentadores de 23 m<sup>3</sup> cada uno, los cuales cuentan con sistema de agitación y refrigeración independiente (Zhang, 2009).

Cuenta además con una cuarta unidad que actúa como cuba pulmón que permite el acoplamiento de las etapas discontinuas con la operación continua de la

destilería. No obstante, el diseño de la misma admite también operar en modo de proceso continuo. El tren de separación está constituido por dos columnas: la primera que actúa como concentrador con separación de mosto por el fondo y el vapor emergente de cabeza es la alimentación de la columna rectificadora.



Figura 1. Sistema de alimentación y molienda.

En la tabla 3 se muestran los principales datos y características del tren de destilación del que se obtiene el producto (Bioetanol) y subproductos (granos húmedos o burlanda).

En la figura 2 se muestra la estructura integral de la planta. El sistema se encuentra integrado energéticamente con recuperación de calor entre distintas corrientes de proceso que minimizan el consumo de vapor.



Figura 2. Equipos de cocción, fermentación, enfriamiento y separación.

	Concentradora	Rectificadora
Presión de trabajo	Atmosférica	Atmosférica
Tipo	De platos perforados	de lecho relleno al azar
DP de operación	0,084 atm	0,131 atm
Número se secciones	una	una
Alimentación	Mosto en solución alcohólica 13 a 14° GL	Solución alcohólica en fase vapor a 75° GL
Concentración del producto	Alimentación de la rectificadora	96° GL
Producción	---	16 m <sup>3</sup> /día
Demanda de Servicios auxiliares	Inyección de vapor vivo	Agua de enfriamiento 60 m <sup>3</sup> /h

Tabla 3. Resumen de características y parámetros de la destilería.

### Sistema de Operación y Control de Proceso

Para la operación de la planta se dispone de un sistema de control lógico programable con tablero de comando táctil que permite la programación y el control de cada una de las etapas de proceso.

Una vez determinadas tales condiciones operativas el sistema integral dispone de un modo de trabajo prácticamente autónomo, luego de fijar los set point respectivos ajustándose las distintas variables y parámetros a dichos valores preestablecidos.

Sin embargo, en caso de resultar necesario la misma puede pasar a modo de operación manual.

Esto resulta en un manejo fácil y sencillo con una demanda de supervisión mínima sin la necesidad de contar con personal con un alto nivel de capacitación técnica.

En las figuras 3, 4 y 5 se muestran las distintas pantallas de control de las respectivas etapas de proceso.

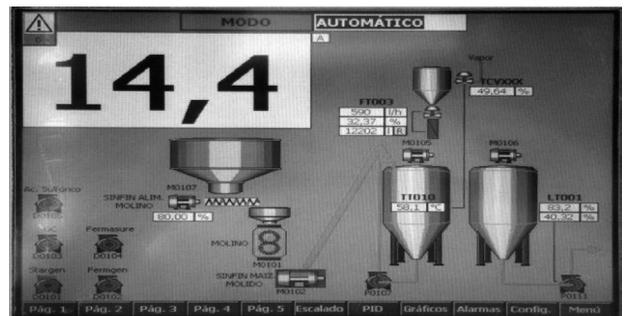


Figura 3. Control del sistema de molienda, mezclado y cocción.



## REFERENCIAS

Begea, M., Bâldea, G., Cîmpeanu, C., Stoicescu, C., Begea, P. (2010). Utilization of Last Generation Enzymes for Industrial Use in Order to Obtain Bioethanol from Locally Available Agricultural. *Renewable Resource, Romanian Agricultural Research*, 27, 155-160.

Devantier, R., Pedersen, S., Olsson, L., (2005). Characterisation of Very High Gravity Ethanol Fermentation of Corn Mash: Effects of Glucoamylase Dosage, Pre-saccharification and Yeast Strain, *Microbiology and Biotechnology*, 68, 622-629.

DuPont Corporation. (2013). *STARGEN™ Process for Conversion of Grains to Ethanol. Technical Support.*

Wang, P., Singh, V., Xue, H., Johnston, D., Rausch, K., Tumbleson. (2007) Comparison of Raw Starch Hydrolyzing Enzyme with Conventional Liquefaction and Saccharification Enzymes in Dry-Grind Corn Processing. *Cereal Chem.* 84, 10-14

Zhang, Z., (2009). Chapter 17: Batch Fermentation and Fermentor Design. *The Alcohol Textbook, 5th edition, Nottingham University Press. UK.*