

PROPUESTA DE TECNOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL COLOR CAMELO CLASE I E150A

Lisandra Quevedo-Hernández^{1}, Osney Pérez-Ones², Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas²,
Jorge T. Lodos-Fernández³ y Asbel Morales-Lorenzo⁴*

*¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, carretera al Guatao km 3 1/2,
La Habana, C.P. 17100, Cuba. E-mail: lquevedo@iiaa.edu.cu*

²Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.

³AZCUBA, Cuba.

⁴Ronera San José, Cuba.

Recibido: 07-05-2022 / Revisado: 11-05-2022 / Aceptado: 15-05-2022 / Publicado: 21-05-2022

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo establecer una propuesta de tecnología de producción de color caramelo Clase I E150a para su instalación en la ronera San José, con la misión de evitar la importación de color caramelo que se utiliza en los rones. Se dimensionó una planta para la producción de 100 t/año, compuesta por un tanque de preparación, un reactor, un tanque de almacenamiento del producto final y una bomba. Se utilizó el programa SuperPro Designer ver. 10.0 para obtener un modelo de simulación de la planta propuesta. Se realizó la evaluación económica de la propuesta a partir del método de Peters resultando un costo de inversión total de 4 345 066 pesos cubanos. Además, se calcularon otros indicadores como el valor actual neto que resultó positivo, el plazo de recuperación del capital de 1,9 años, un plazo de recuperación del capital al descontado de 2,7 años, una tasa interna de rendimiento de 40 % y un retorno sobre la inversión de 52,6 %.

Palabras clave: color caramelo, industria del ron, simulación.

ABSTRACT

Technology proposal for obtaining the caramel color class I E150a

The objective of this work was to establish a production technology proposal for Class I E150a caramel color for its installation in the San José rum factory, with the aim of avoiding the importation of caramel color that is used in rums. A plant was dimensioned for the production of 100 t/year, consisting of a preparation tank, a reactor, a final product storage tank and a pump. The program SuperPro Designer ver. 10.0 to obtain a simulation model of the proposed plant. The economic evaluation of the proposal was carried out using the Peters method, resulting in a total investment cost of 4,345,066 Cuban pesos. In addition, other indicators were calculated, such as the positive net present value, the capital recovery period of 1.9 years, a discounted capital recovery period of 2.7 years, an internal rate of return of 40% and a return on investment of 52.6%.

Keywords: caramel color, rum industry, simulation.

INTRODUCCIÓN

El color caramelo se emplea como colorante alimentario no sintético en bebidas alcohólicas, que proporciona colores marrones con tonalidades que abarcan desde ámbar y dorados con halo rojizo hasta marrones muy oscuros (1). El colorante caramelo es el más utilizado en la industria alimentaria, representa más del 90 % del total de todos los añadidos (2).

El caramelo natural es un ingrediente fundamental en la última etapa de muchos ronones, ya que permite al ron afianzar su coloración, al mismo tiempo le da un sabor característico que se compenetra con el origen azucarado de la bebida, con el fin de sustituir importaciones, reducir la dependencia de suministradores externos y continuar la exportación de ronones. Se analiza la factibilidad de desarrollar la producción en Cuba del color caramelo E150a, que cumpla con las especificaciones de calidad establecidas por las normas cubana y europeas.

Por consiguiente, el objetivo del trabajo fue proponer una tecnología de producción de color caramelo Clase I E150a para su instalación en la ronera San José.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se determinaron los flujos máxicos de cada corriente a través de balances de masa global, también por componentes en el reactor y en el tanque de preparación para la obtención del licor. Se consideró que se trabajan 300 días al año y 8 h/d, así como, que el resto se utiliza para la limpieza, mantenimiento y base de cálculo un día.

La elaboración de color caramelo Clase I E150a requiere de equipos de fácil limpieza para disminuir problemas microbiológicos, todos los acoplamientos y válvulas deben ser de diseño sanitario y a su vez susceptibles a aceptar altas temperaturas.

Para la preparación del licor y los reactivos se diseñó un tanque con agitación en el que se programan los tiempos para preparar la disolución. Como se requieren producir 260 L diarios de licor se diseñó un tanque con una capacidad efectiva de 260 L.

De acuerdo al proceso y los reactivos que se utilizan se planteó utilizar un reactor encaquetado con agitación de 300 L, considerando el suficiente espacio para permitir la agitación de la mezcla sin que haya reboso. El sistema de calentamiento empleado fue el de chaqueta de intercambio. Como material para la construcción se utilizó, acero inoxidable austenítico 316 L.

El tanque de almacenamiento de producto final se diseñó para una capacidad efectiva de 260 L. El volumen de los equipos se puede calcular por la ecuación 1:

$$V_{TK1} = \frac{\pi}{4} * D_{TK1}^2 * H_{TK1} \quad (1)$$

Se consideró que $DTK1=HTK1$. Se calculó el diámetro y altura mediante la ecuación 2.

$$D_{TK1} = \sqrt[3]{\frac{V_{TK1} * 4}{\pi}} \quad (2)$$

Se consideró un factor de seguridad de un 20 % para calcular la altura:

$$H_{TK1} = 1,2 * D_{TK1} \quad (3)$$

La selección de la bomba centrífuga fue realizada con el objetivo de impulsar la solución de licor desde el tanque de preparación con agitación hasta el reactor. Para determinar la carga de la bomba se aplicó la ecuación del balance de energía mecánica o ecuación de Bernoulli (3). Se realizó el análisis de fiabilidad.

La simulación del proceso de obtención de color caramelo E150a fue realizada en el programa SuperPro Designer ver. 10.0. Los parámetros de operación y de comportamiento de cada uno de los procesos unitarios, se le introdujeron al programa por medio de las ventanas que se despliegan accediendo a los datos de operación. Estos fueron, tiempo de arrancada del equipo, tiempo de proceso, temperatura y tiempo en que comienza el funcionamiento del módulo. El tiempo de arrancada de los equipos se asumió 0, puesto que los equipos con que cuenta la planta son automáticos y de respuesta rápida, por lo que este tiempo comparado con el tiempo de proceso es despreciable.

En los datos del proceso solo se especificaron el modo de operación de los equipos, que en todos los casos se seleccionó el discontinuo. Para los procesos de calentamiento se utilizó calentamiento eléctrico. En el enfriamiento se utilizó agua de enfriamiento, con temperatura de entrada 25 °C y salida 30 °C. Se razonó un 10 % de pérdidas en la transferencia de calor.

En el análisis económico del proyecto se consideró un tiempo de operación 300 d/año. En caso de posibles inversiones, se emplearon adicionalmente otros indicadores económicos dinámicos: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR), el plazo de recuperación del capital (PRC), el plazo de recuperación del capital al descontado (PRCD) (5). Para el cálculo se consideraron los índices siguientes: una tasa impositiva de 35 %, una tasa de interés de 12 %, un horizonte de planeación de cinco años y un tiempo de vida útil del equipamiento de diez años. La planta trabaja al 70 % de su

capacidad en el primer año y los restantes cuatro años al 100 %.

Para calcular el costo de inversión total por concepto de adquisición de equipamiento tecnológico (CAET) se procedió a buscar en el mercado los equipos que cumplan con las características diseñadas. El costo de inversión total (ATC) se determinó mediante el método de Peters, pues se está diseñando una planta nueva (4).

Se calcularon los costos de operación, o sea, todos los gastos relacionados con la producción propiamente dicha, o con los equipos de proceso de la planta. Estos gastos se dividen a su vez en dos categorías principales que son los costos directos de producción y costos indirectos de producción.

Los costos directos de producción incluyen los gastos que de forma directa inciden en la elaboración del producto: Se consideraron: materia prima, materiales de producción, salarios del personal directamente relacionados con la producción, servicios auxiliares como son agua, electricidad, refrigeración, mantenimiento y reparación, suministros de operación y cargos de laboratorios. Los costos indirectos de la

planta son los costos por impuestos (1 a 2 % del capital fijo) y seguros (0,4 a 1 % del capital fijo) (5).

Los gastos generales incluyen los gastos administrativos, los gastos por distribución y mercadeo, investigación y desarrollo, financieros y gastos adicionales. En general se puede considerar como el 25 % de los gastos indirectos de la planta (5).

Los ingresos por concepto de ventas vienen dados por la venta del producto final (color caramelo) a 52 761,5 pesos cubanos la tonelada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta el resultado de los balances de masa realizados. El esquema del proceso tecnológico simulado en SuperPro Designer ver 10.0 se muestra en la Fig. 1 y los resultados para cada una de las corrientes de materiales simuladas en la Tabla 2.

Tabla 1. Resultados del balance de masa

Balance de materiales	Componente	Flujo másico (kg/d) (entra)	Flujo másico (kg/d) (sale)
Balance de masa del licor	Azúcar refino	269,40	-
	Agua tratada	73,80	-
	Licor	-	343,20
Determinación del ácido fosfórico	Ácido fosfórico	0,71	-
Determinación del hidróxido de sodio	NaOH	10,40	-
	NaOH	10,40	-
Balance de masa del color caramelo	Ácido fosfórico	0,71	-
	Licor	343,20	-
	Color caramelo	-	354,31

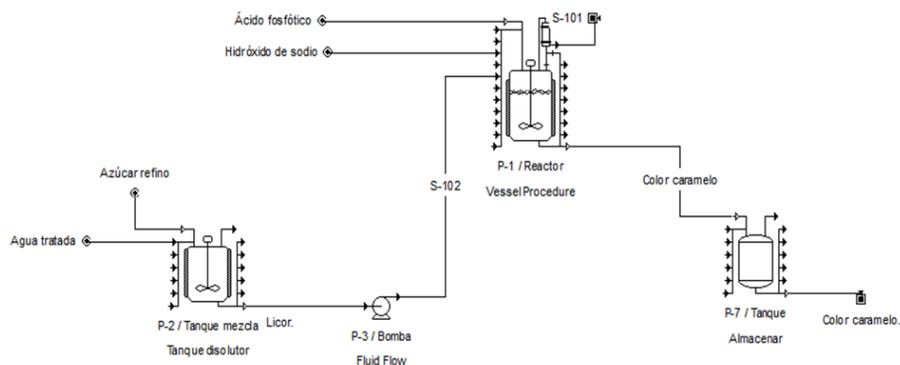


Fig. 1. Esquema de simulación del proceso de obtención del color caramelo.

Tabla 2. Resultados para cada una de las corrientes de materiales en la simulación

Corriente	Flujo másico (kg/lote)	Composición másica				T (°C)
		Sacarosa	Agua	Ácido fosfórico	Hidróxido de sodio	
Licor	343,18	0,785	0,215	-	-	90
Color caramelo	354,68	0,760	0,226	0,0017	0,0117	50

Las dimensiones del tanque de preparación con agitación y el tanque de almacenamiento del producto final propuestos, fueron diámetro de 0,69 m, altura de 0,83 m y capacidad de 0,26 m³. El reactor enchaquetado con agitación tuvo un diámetro de 0,73 m, altura de 0,87 m y capacidad de 0,30 m³.

Al resolver el balance de energía mecánica se obtuvo que la carga de la bomba fue de 5,19 m y el flujo volumétrico que procesa fue 0,252 m³/h. Asimismo, resultó conveniente seleccionar del catálogo una bomba centrífuga AU Monobloc. La bomba seleccionada tuvo una potencia igual a 0,55 kW, temperatura máxima de 120 °C, caudal (Q) de hasta 53 m³/h, con una tensión de 440 V y frecuencia 50 Hz.

Al comparar los resultados en la simulación con los que se informa en la Tabla 1 del balance de materiales, se aprecia que las cantidades de color caramelo producido difieren en 0,1 %.

Como se demuestra en la Fig. 2, el reactor es el equipo con mayor consumo de energía eléctrica, correspondiente a 82,6 %, debido a que en él ocurren la mayor cantidad de procesos y con un tiempo de procesamiento superior. En lo que al proceso de producción se refiere, para hacer un uso racional de los portadores energéticos, debe tratarse de evitarse el funcionamiento de los equipos por un tiempo mayor que el requerido por las condiciones del proceso o sin la carga de materiales correspondientes.

Tipo de potencia	Inicio (h)	Final (h)	Tiempo consumido por lote(h)	Potencia (kW)	Demanda kWh/batch	Uso (%)
⊖ Potencia estándar	0.50	6.45	5.95	(14.09)	83.84	
⊖ Sección principal	0.50	6.45	5.95	(14.09)	83.84	100.0
⊖ P-2 Tanque de mezcla	0.50	2.00	1.50	(9.75)	14.63	17.4
Calentar a 90 °C	0.50	0.83	0.33	38.95	12.98	15.5
Agitar	0.50	2.00	1.50	1.10	1.65	2.0
⊖ P-3 Bomba	2.00	2.52	0.52	(0.00)	0.00	0.0
PUMP-1	2.00	2.52	0.52	0.01	0.00	0.0
⊖ P-1 Reactor	2.55	6.45	3.90	(17.75)	69.21	82.6
Agitar	2.55	2.72	0.17	1.10	0.18	0.2
Calentar a 140 °C	4.28	4.62	0.33	199.96	66.65	79.5
Agitar 2	4.28	6.45	2.17	1.10	2.38	2.8

Fig. 2. Energía consumida por cada lote de producción.

El diagrama de Gantt (Fig. 3) revela información sobre la ocupación del equipo en función del tiempo para un lote y permite visualizar fácilmente los cuellos de botella del tiempo de ciclo. Se puede apreciar que las operaciones de agitar y calentar tanto en el módulo de tanque de preparación como en el reactor coinciden durante todo el período de tiempo que dure el calentamiento. Esto es debido a que de esta forma se obtienen mejores resultados, ya que la agitación homogeniza

el caramelo evitando la carbonización por áreas y redistribuyendo el calor para facilitar la dilución y la reacción de caramelización. Con ello se logra llegar a temperaturas más altas sin que aparezcan señales de carbonización y dando la oportunidad de que la mayor parte de los reaccionantes se conviertan en productos coloreados.

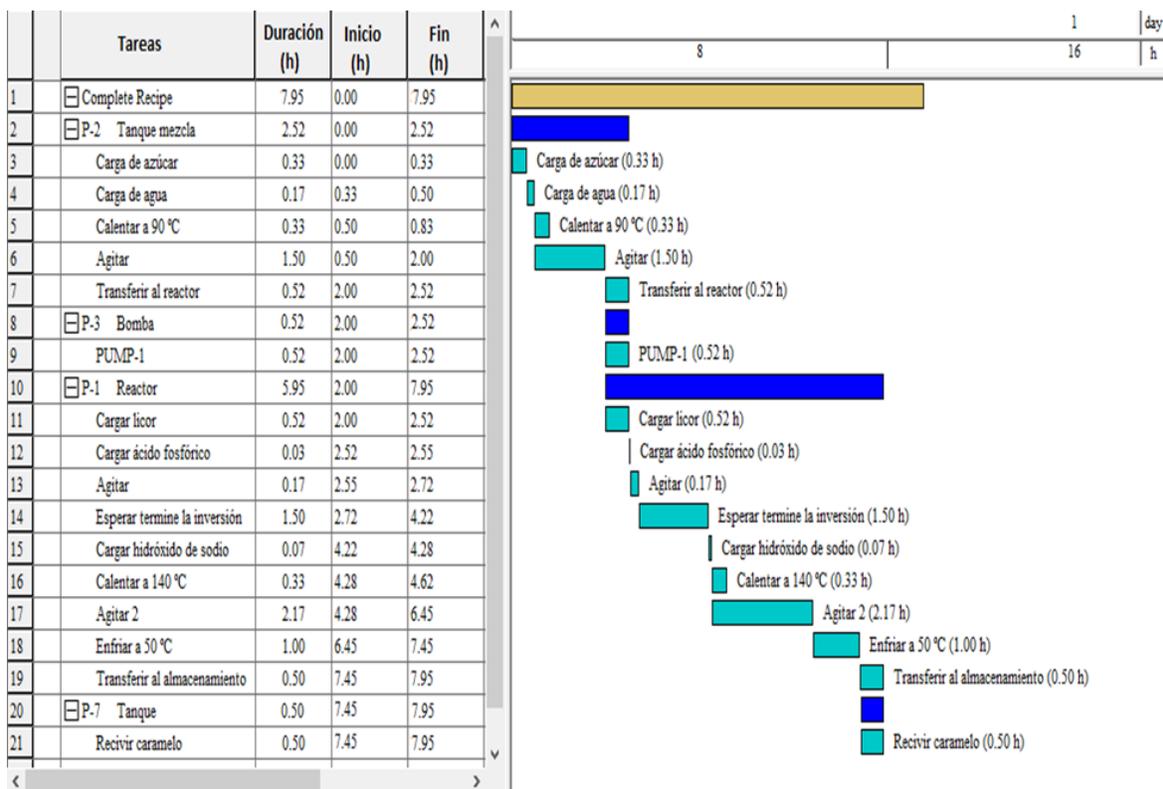


Fig. 3. Diagrama de Gantt.

La ocupación de los equipos para un solo lote de producción es de ocho horas como se puede apreciar en el diagrama de

Gantt. Después de considerar un tiempo de acondicionamiento para los equipos, queda libre el espacio necesario para realizar

otro lote más al día. Esto da la posibilidad de suplir un incremento de la demanda de color caramelo doblando el turno de trabajo, sin necesidad de construir una planta nueva.

La Tabla 3 muestra el listado y precios de los principales equipos propuestos para el diseño de la planta piloto (6). Se obtiene que el costo de adquisición del equipamiento tecnológico (CAET) es 763 632 pesos cubanos.

Tabla 3. Costo de adquisición de los equipos

Equipo	Cantidad	Capacidad (L)	Costo (pesos cubanos)
Tanque de preparación	1	260	183 552
Bomba	2	-	23 280
Reactor	1	300	504 000
Tanque de almacenamiento final	1	260	52 800
Total	5		763 632

El costo de inversión total, estimado mediante el método de Peters, fue de 4 345 066 pesos cubanos. Los costos totales de operación fueron de 1 439 373 pesos cubanos al año. Al costo total de operación se le adicionaron los gastos generales que incluyen gastos administrativos, los gastos por distribución y venta e investigación y desarrollo, dando un costo total de producción de 1 784 462 pesos cubanos al año.

Se calcularon los indicadores económicos dinámicos (Tabla 4), el VAN se obtuvo considerando todos los beneficios generados por el proyecto a lo largo de su vida útil, es decir, la suma de todos los flujos de efectivo al descontado (A_{def}). Como se aprecia, el VAN fue mayor que cero, lo que significa que los beneficios generados por el proyecto pagan el costo de los fondos empleados en el mismo. La TIR corresponde al cálculo de la tasa de descuento necesaria, para que los flujos efectivos generados por el proyecto entreguen un VAN igual a cero. La TIR obtenida (40 %) estuvo por encima de la tasa a la que la empresa puede obtener fondos (tasa de interés: 12 %) y su valor es adecuado estando entre el intervalo de 35 a 45 % que es realmente lo que se acepta en un proceso.

Tabla 4. Cálculo de los indicadores económicos

Indicador	Valor
Valor actual neto, VAN (pesos cubanos)	3 737 784
Tasa interna de rendimiento, TIR (%)	40
Plazo de recuperación, PRC (años)	1,9
Plazo de recuperación al descontado, PRCD (años)	2,7
Retorno sobre inversión, RSI (%)	52,6

Otros indicadores analizados fueron el PRC de 1,9 años y el PRCD de 2,7 años, calculados mediante la herramienta que brinda el software Excel. Este último indicador tiene en cuenta

el valor del dinero en el tiempo. Se evidencia la liquidez de la inversión. El RSI representa la relación de los beneficios económicos acumulados en el horizonte del proyecto a la cantidad de capital invertido en el mismo, arrojando un valor de 52,6 %, siendo este mayor que un 33 % lo que denota que la inversión es atractiva.

CONCLUSIONES

Se dimensionaron los equipos requeridos para realizar el proceso, dando como resultado un tanque de preparación y uno de almacenamiento con altura de 0,83 m, diámetro de 0,69 m y una capacidad de 0,26 m³; un reactor de altura 0,87 m, diámetro de 0,73 m y una capacidad de 0,3 m³; dos bombas de alimentación tipo centrífuga de hasta 53 m³/h, una de ellas de reserva. La planta propuesta para la producción de color caramelo tiene un costo de inversión total de 4 345 066 pesos cubanos y un costo total de producción de 1 784 462 pesos cubanos al año. Tiene como indicadores económicos: un VAN positivo, tasa interna de rendimiento de 40 %, plazo de recuperación del capital de 1,9 años, plazo de recuperación del capital al descontado de 2,7 años y retorno sobre la inversión de 52,6 %.

REFERENCIAS

1. SECNA. El caramelo color en la industria de bebidas alcohólicas La Semana Vitivinícola 2019 [cited 2021 5-6-2021]. Available from: http://www.sevi.net/es/3545_productos_enologicos_labora/21/13515/El-caramelo-color-en-la-industria-de-bebidas-alcoh%C3%B3licas-secna-natural-colors-

productos-enologicos-enologia-caramelo-sugar-bodega-Enolog%C3%ADa.htm

2. Milla MY. Estudio técnico-económico para la estandarización del proceso de elaboración de color arameo tipo i a partir de sacarosa: Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú; 2014.
3. Rosabal JM, Garcell L. Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Varela EF, editor 2006.
4. Timmerhaus P. Diseño de Plantas y Economía para Ingenieros Químicos (5ta edición). New York: McGraw-Hill Education; 2002.
5. Fernández-Santana E. Ingeniería Económica para Ingenieros Químico. La Habana: CUJAE; 2002.
6. Alibaba-Group. 2021 [10-11-2021]. Available from: <https://spanish.alibaba.com>.