

Sistema para el entrenamiento de operarios en procesos tecnológicos en la Industria Alimentaria

System system for the training of operators in technological processes in the food industry

Gil Cruz Lemus¹, Raisa Socorro Llanes¹, Elena Acosta Gil¹

¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba

Correo electrónico: gil@tesla.cujae.edu.cu

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional 

Recibido: 7 de septiembre de 2018 Aprobado: 14 de diciembre de 2018

Resumen

Las empresas de proyectos de la Industria Alimentaria presentan la necesidad de entrenar a operarios de plantas. Las mismas necesitan poder entrenar de forma rápida, pues en la actualidad existen muchas irregularidades a la hora de operar los procesos debido a que los encargados de realizar estos trabajos a veces no tienen el suficiente conocimiento. En el trabajo se presenta un sistema enmarcado en la rama de software educativo para entrenar a operadores de procesos tecnológicos en la Industria Alimentaria. El mismo tiene como objetivo evaluar las decisiones que toman los operarios ante diferentes situaciones críticas y brindar al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se van superando los mismos. Dicho sistema utiliza el Drools como motor de inferencia para validar las respuestas emitidas por el usuario. Se realizaron 122 corridas de pruebas entre los dos procesos en la etapa de entrenamiento, en las que se evaluaron los estados de las variables, causas y recomendaciones, y se comprobó que cuándo el sistema identificó la respuesta del usuario de forma correcta o incorrecta, coincidió con lo que aparece en los árboles de inferencia. Este proyecto está vinculado con la ejecución de un sistema experto para el proceso de elaboración de queso fresco por vía enzimática usando reglas de producción y con el sistema para gestionar bases de conocimiento en la Industria Alimentaria, este último genera las bases de conocimiento que son utilizadas por los dos sistemas.

Palabras claves: Industria Alimentaria, sistema de entrenamiento, procesos tecnológicos, motor de inferencia, sistema expertos

Abstract

The Companies of Projects of the Alimentary Industry present the need to train to operarios of plants. They need to be able to train quickly, because currently there are many irregularities when operating the processes because those responsible for performing these jobs sometimes do not have sufficient knowledge. The work presents a system framed in the branch of educational software to train operators of technological processes in the food industry. The objective is to evaluate the decisions made by the

operators in different critical situations and provide the main technologist of a process with the results of the evaluation and how they are being overcome. This system uses the Drools as an inference engine to validate the answers issued by the user. There were 122 runs of tests between the two processes in the training stage, in which the states of the variables, causes and recommendations were evaluated and it was found that when the system identified the user's response correctly or incorrectly, it coincided with what appears in the trees of inference. This project is linked to the execution of an expert system for the process of making fresh cheese enzymatically using production rules and the system to manage knowledge bases in the food industry, the latter generates the knowledge bases that is used by the three systems.

Key words: food industry, training system, technological processes, inference engine, expert system

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Investigación de la Industria Alimentaria (IIIA) perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria, desempeña una función muy importante dentro de la economía, por lo que cualquier avance a introducir dentro del sector para ayudar a mejorar los procesos de elaboración es bien recibido. Entre los procesos que se llevan a cabo en la IIIA se pueden destacar la fabricación de queso fresco por vía enzimática, elaboración de néctar de naranja- mandarina, entre otros.

El proceso de elaboración de estos productos se caracteriza por realizarse de manera ininterrumpida y el personal que trabaja durante la ejecución de estos procesos resulta inestable, dificultando así el desarrollo de los mismos. Además, también afecta el desarrollo de los mismos la falta de preparación técnica de los trabajadores, al no contar con cursos tutoriales, ni planes de superación para los operarios, por lo que deben aprender sobre la marcha; de igual forma, no se cuenta con suficientes especialistas para la capacitación de los operadores por tal motivo, se hace imprescindible acudir al especialista principal del área para tomar decisiones cuando ocurre una situación crítica determinada, pero no siempre están presentes los expertos para su posible solución.

En este trabajo se desarrolla un sistema para entrenar a los operadores de procesos tecnológicos ante diferentes situaciones críticas, permitiéndoles no solo detectar las alteraciones en el proceso e informárselas, sino también capacitarlos para conocer las causas de las mismas y orientar sobre las posibles acciones a realizar para retornar el proceso a la normalidad. Además, permite conocer al operador los resultados de su evaluación en el entrenamiento y cómo se va superando en el mismo, así como al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se supera cada uno de los operarios [1].

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del proceso de elaboración de queso fresco por vía enzimática

El estudio de los trabajos [2,3], permitió conocer cuáles eran las variables que se necesitan controlar y calcular del proceso de elaboración de queso fresco por vía enzimática. Este proceso es controlado en tres etapas.

En la primera etapa, inmediatamente después del recibo y cuantificación de la leche, así como de la inspección o toma de muestras para el análisis de laboratorio, la leche se filtra a flujo continuo, se enfría lo más rápido posible mediante un intercambio con agua helada hasta una temperatura entre 4-6 °C, se almacena en recipientes apropiados con aislamiento hasta que comience su posterior procesamiento. En esta etapa intervienen los parámetros representados en el Anexo 1 que se muestra en [4].

Posteriormente, en la segunda etapa, la leche pasa a través de un intercambiador a placas (IAP), donde primero se precalienta, de ahí pasa a una centrífuga donde se clarifica y estandariza, después vuelve al IAP donde se pasteuriza. En esta etapa intervienen los parámetros representados en el Anexo 2 que aparece en [4].

En la tercera etapa, la leche pasa a la tina, adicionándole cloruro de calcio, cultivo mesófilo, cultivo termófilo y cuajo, con el objetivo de que ocurra el proceso de inoculación hasta lograr la coagulación de la leche. Posteriormente se realiza el corte o troceado, se elimina parte del suero, se adiciona sal agitando y calentándose, después se pasa al moldeo y prensado, y por último, va a las neveras para su conservación. En esta etapa intervienen los parámetros representados en el Anexo 3 en [4].

Caracterización del proceso de elaboración de néctar de naranja- mandarina

El primer paso es mezclar todos los ingredientes hasta lograr que el brix y la acidez de la mezcla estén en los parámetros establecidos. Una vez que se logre esto, las próximas templas a preparar tendrán las cantidades de cada uno de los ingredientes que lograron que en la primera templa se alcanzara el brix y acidez establecida. En esta etapa intervienen los parámetros representados en el Anexo 4 en [5],

Los ingredientes se añaden en el siguiente orden:

1. Jugo de mandarina.
2. Jugo concentrado de naranja.
3. Azúcar.
4. Ácido cítrico.
5. Colorante.
6. Agua.

El próximo paso es la medición del brix y la acidez de la mezcla. En dependencia de si estos valores están fuera de rango, se reajustan las cantidades de jugo de naranja, jugo de mandarina, azúcar, ácido cítrico y agua, las cuales serán las cantidades a añadir para las próximas templas.

Una vez ajustado el valor del brix y la acidez de la mezcla se continúa el proceso y se comienza a preparar la templa número 2, la cual puede tener diferente masa total, según las adiciones que se hayan tenido que realizar por lo que la masa total de la segunda templa, será la de todas las demás.

Posteriormente, el jugo pasa por un intercambiador de tubo para precalentarse, de aquí pasa a un intercambiador a placa con el objetivo de lograr la pasterización del mismo. En esta etapa se deben controlar las variables que se muestran en [5],

Una vez lograda la temperatura de pasterización se pasa al llenado, donde el jugo pasterizado se envasa en botellas previamente calentadas. El paso siguiente es el tapado, el cual se realiza mecánicamente, se pasan las botellas por un enfriador, se les colocan las etiquetas manualmente, se embalan y se almacenan. Los parámetros a controlar en esta etapa se muestran en el Anexo 6 en [5].

Similitudes entre los procesos de elaboración de queso y néctar de naranja-mandarina

Entre las similitudes que se evidencian en el control de estos procesos se encuentran:

- El control de las variables en cada etapa del proceso.
- Las clasificaciones de las variables son: continuas, discretas o válvulas (más adelante se explican estas clasificaciones).
 - Las variables tienen asociado un estado en cada situación, y las posibles causas que ocasionan que tomen estos valores.
 - Para cada causa se le asocian recomendaciones que deben cumplirse para estabilizar la variable.

En los procesos se controla el estado en que se encuentra cada una de las variables. El estado para las variables continuas, está entre alto o bajo, para las variables discretas se considera positivo o negativo, y las válvulas entre abierta, normal o cerrada. Una variable es considerada continua cuando su valor es medible (por ejemplo: temperatura de pasterización y ácido láctico). Las variables discretas son aquellas que tienen valores binarios (prueba de cocción y prueba de inhibidores).

En la figura 1 se muestra el subárbol del brix del producto, en el de elaboración de néctar de naranja mandarina, y en la figura 2 el de la humedad del producto en el proceso de elaboración de queso, donde se evidencian las similitudes en el control de ambos. En las figuras se encuentran enmarcadas en verde las variables, las causas en naranja y las recomendaciones en rojo. En el primer caso, se mide el brix del producto y en el segundo caso, la humedad del producto, en ambos pueden tener varios estados, donde cada cual tiene asociado las causas y las recomendaciones



Fig. 1. Subárbol de inferencia del brix del producto del proceso de elaboración de néctar de naranja mandarina

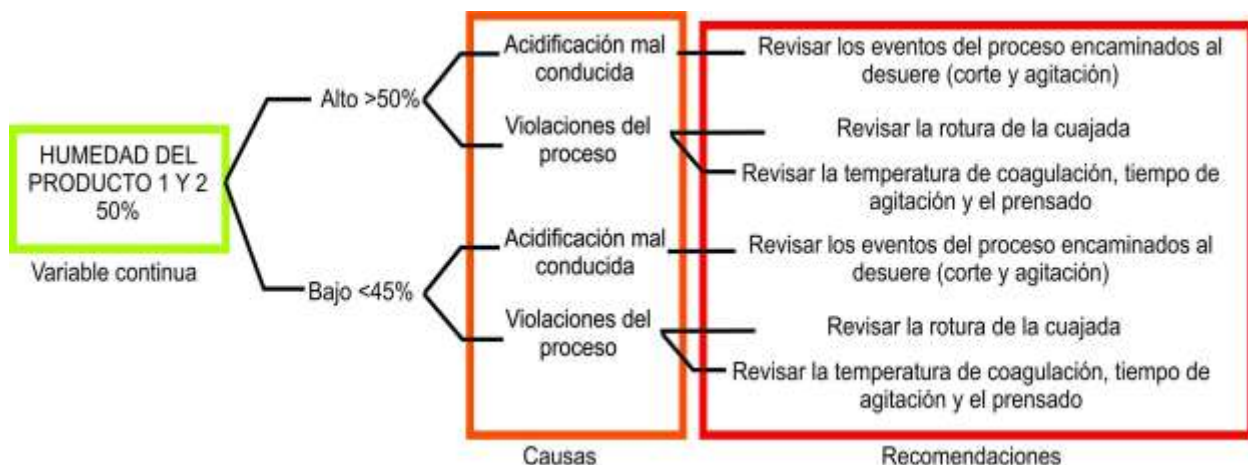


Fig. 2. Subárbol de inferencia de la humedad del producto en el proceso de elaboración de queso

Análisis de motores de regla

Existen varias opciones relacionadas con el software de desarrollo, mediante estas es posible entrenar a los operarios como lo son los casos que aparecen en [6,7].

El escogido fue el que aparece en [7], este es un software libre distribuido según los términos de la licencia apache. Ofrece una ejecución de alto rendimiento y un sistema de administración de reglas de negocio, bien equipado para soportar la clasificación del negocio a través de reglas. Es ampliamente popular por la expresividad natural de las reglas de negocio. Permite diversos enfoques para la definición de reglas y palabras claves del negocio. Utiliza lenguajes específicos de dominio para que, tanto los analistas de negocio, como desarrolladores, puedan detallar las reglas en forma natural e incluye un complemento para usarse de forma integrada a Eclipse. El mecanismo de inferencia está basado en una versión mejorada del algoritmo ReteOO.

Un archivo DRL (a menudo con la extensión. drl) que aparece en [7], almacena sus reglas y la sintaxis de una regla dentro de este archivo es la siguiente, donde <name> es el nombre de la regla, <attribute> son los posibles atributos que puede tener la misma; <conditional element> es la sentencia condicional a evaluar por la regla, si se cumple esta sentencia se pasa a realizar una o varias acciones en este caso <action>.

Análisis de las reglas obtenidas en los procesos del IIIA

En el transcurso del análisis de las variables en las etapas del proceso de elaboración de queso fresco por vía enzimática y de néctar de naranja-mandarina, se encuentran casos comunes, el primero es que para cada variable que tiene asociado un estado fuera de lo normal existen causas asociadas y como segundo caso, que para cada causa existen recomendaciones asociadas.

A partir de lo anterior se pueden deducir dos tipos de reglas:

1. El estado de la variable tiene asociado una serie de causas (Variable → Causa).
2. La causa tiene asociada sus recomendaciones (Causa → Recomendación).

A partir de la figura 1 se pueden obtener dos reglas:

Si la variable brix del producto está en estado alto, implica la causa mayor cantidad de azúcares (Variable → Causa).

Si hay mayor cantidad de azúcares, implica la recomendación adicionar agua por BPA (Causa → Recomendación).

Informática educativa y tecnologías utilizadas en el sistema

La Informática Educativa es una disciplina que estudia el uso, los efectos y las consecuencias de las tecnologías de la información y el proceso educativo. Esta disciplina intenta acercar al aprendiz al conocimiento y manejo de modernas herramientas tecnológicas como el computador y de cómo el estudio de estas tecnologías contribuye a potenciar y expandir la mente, de manera que los aprendizajes sean más significativos y creativos.

Entre las diferentes ramas de la Informática Educativa se pueden destacar las siguientes: Software Educativo, Internet Educativa y Robótica Educativa.

El sistema elaborado está enmarcado en la rama de Software Educativo, puesto que este puede tratar diferentes materias de formas muy diversas (a partir de cuestionarios, facilitando una información estructurada y ofrece un entorno de trabajo más o menos rico en posibilidades de interacción).

Implementación del sistema para entrenar a operadores de procesos tecnológicos en la industria alimentaria

Las funcionalidades por la que debe operar el experto para llevar a cabo la realización de las bases de conocimientos aparecen en el diagrama de casos de uso del sistema, las cuales se muestran en la figura 3.

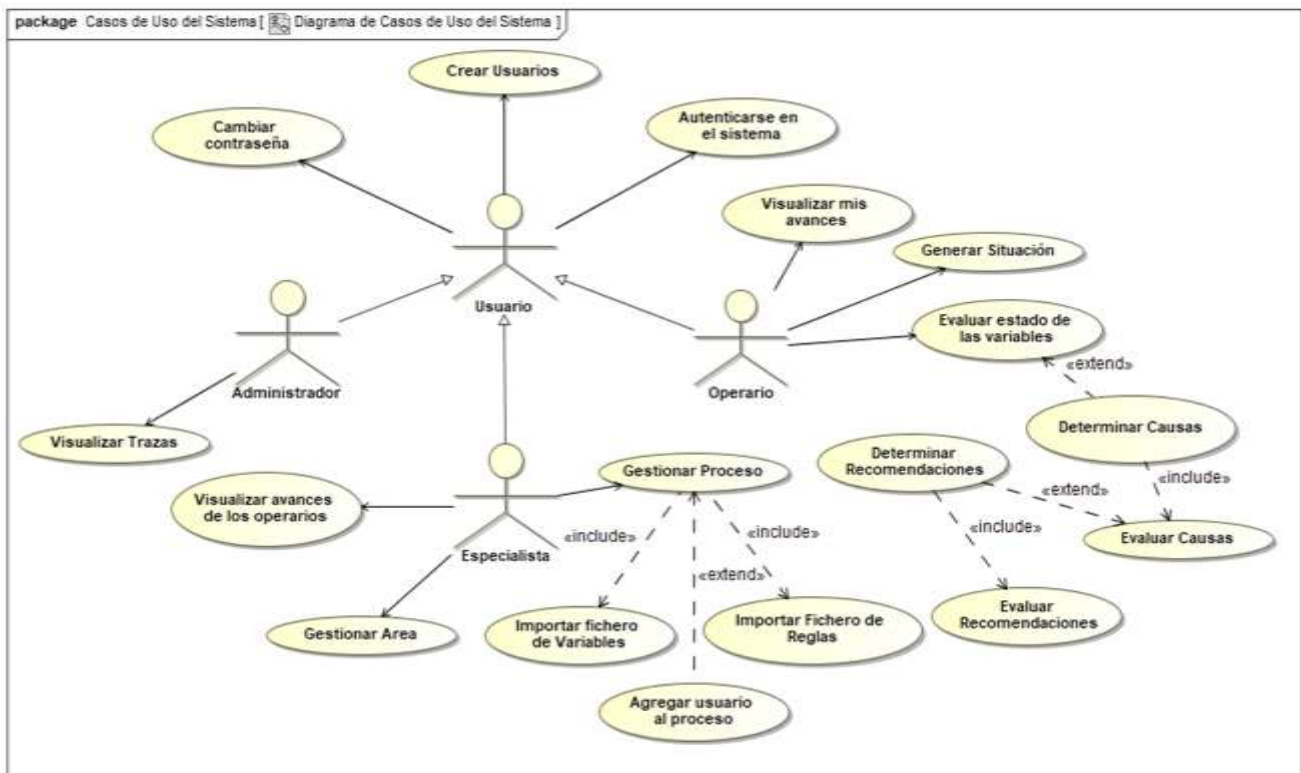


Fig. 3. Diagrama de casos de uso del sistema

El sistema de entrenamiento tiene como objetivo realizar el entrenamiento del operador de un proceso fuera de línea sin la presencia de expertos, y utiliza las reglas de producción como formalismo de producción y el Drools como motor de inferencia [7].

Es el sistema encargado de interactuar con el usuario, que además de gestionar usuarios, procesos y áreas, lo va hacer con las bases de conocimientos y el motor de inferencia a la hora de verificar las respuestas dadas por el operario al realizar el examen.

Este consta de tres usuarios:

1. Administrador: Es el actor que se ocupa de gestionar usuarios y áreas.

2. Especialista: Es el encargado de gestionar los procesos, importar los ficheros del proceso y reglas que son generados por el Sistema Generador de Bases de Conocimiento. Además, permite visualizar los reportes de cada operario en su entrenamiento para poder ver los avances de cada uno.

3. Operario: Es el actor que se evalúa a través de situaciones generadas de forma aleatoria por el sistema. En la figura 4 aparecen los avances de la evaluación del entrenamiento del operario en cada una de las etapas.

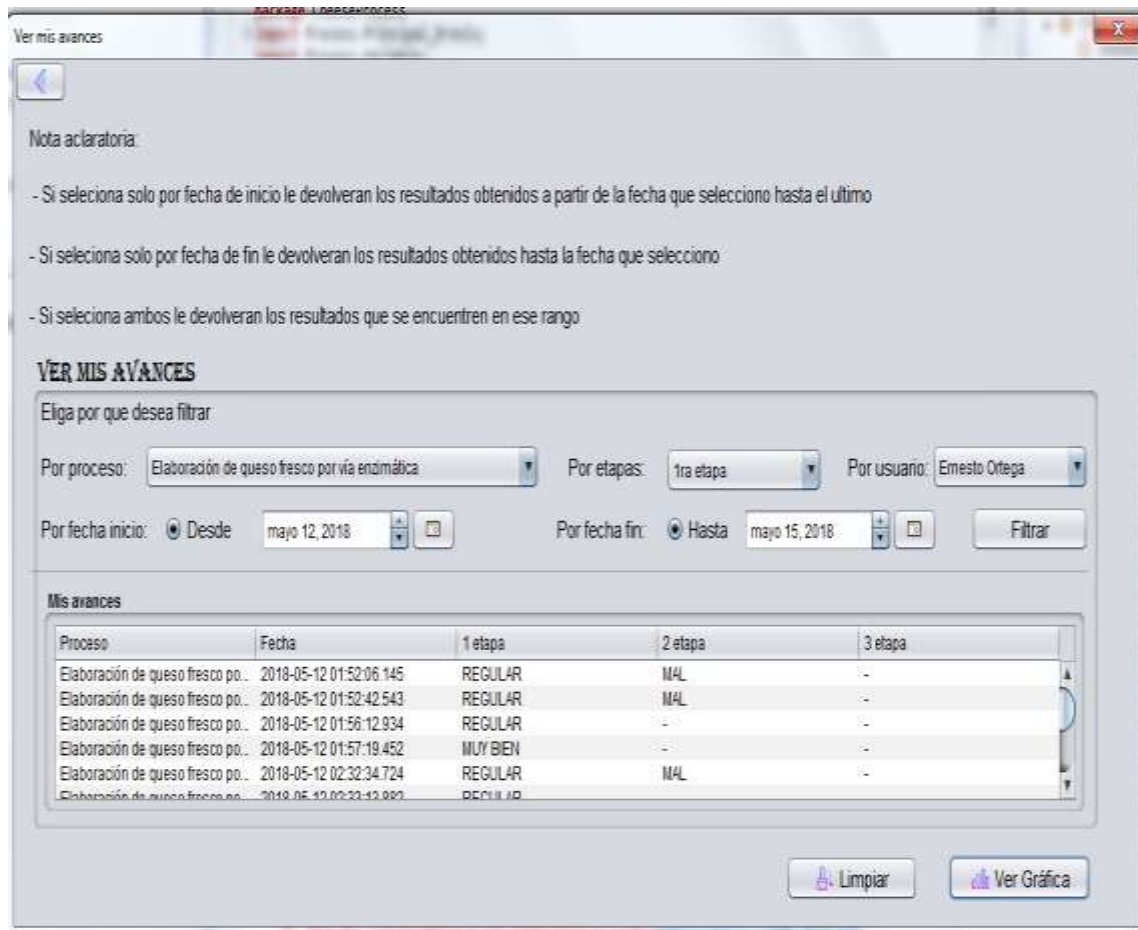


Fig. 4. Los avances de la evaluación del entrenamiento del operario en cada una de las etapas

El operario también puede ver sus resultados a través de un gráfico de barra que le muestra el programa.

Requisitos de software y de hardware

Para poder utilizar el sistema de entrenamiento se debe tener instalado el JDK versión 1.7 y el IDE de desarrollo Eclipse Kepler. Además, se utilizará PostgreSQL versión 9.0 como gestor de base de datos.

Como requisito de hardware se necesita 512MB de memoria RAM, un microprocesador Pentium IV a 2.8 GHz y un disco duro con capacidad libre de 40 GB como mínimo, para almacenar la información incorporada al sistema.

RESULTADOS

Pruebas funcionales

Para preparar los casos de pruebas de caja negra, se necesita un número de datos que ayuden a la ejecución de estos casos y permitan que el sistema se ejecute en todas sus variantes. Se pueden introducir datos válidos o inválidos para el programa según lo que se desea: hallar un error o probar una funcionalidad. Los datos se escogen atendiendo a las especificaciones del problema, sin importar los detalles internos del programa, a fin de verificar que el programa se ejecute sin problemas.

Durante una semana se realizó la revisión de todas las funcionalidades del sistema. En este período, los señalamientos fueron solucionados de forma casi inmediata.

En la referencia [1] se muestran (tabla 26, 27 y 28) los casos de pruebas para los casos de uso del sistema gestionar proceso, evaluar causas y evaluar recomendaciones respectivamente.

Posteriormente se cargaron los ficheros de *proceso* y de *reglas* generados por el sistema generador de base de conocimientos de cada proceso en el sistema de entrenamiento. Una vez escogida el área, el operario debe seleccionar las variables que se encuentren fuera de rango, las causas que le corresponden a esas variables y sus recomendaciones. A medida que el operario va dando respuestas el programa le mostrará una ventana que le dice si es correcto o incorrecto y si le faltaron algunas variables, causas o recomendaciones por seleccionar.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para varias corridas realizadas en la etapa de entrenamiento de los operadores para el proceso elaboración de queso fresco por vía enzimática y en la tabla 2, para el proceso de elaboración del néctar naranja-mandarina, en las que se evaluaron los estados de las variables, causas y recomendaciones, así como el número de corridas realizadas.

Tabla 1. Resultados obtenidos al realizar los casos de pruebas para el proceso elaboración de queso fresco

Casos de pruebas	No. de realizadas	Número de veces que el sistema detectó respuestas correctas o incorrectas	Número de veces que el sistema identificó respuestas correctas o incorrectas
CU Evaluar estado de las variables	10	7	3
CU Evaluar causas	30	18	12
CU Evaluar recomendaciones	25	20	5

Tabla 2. Resultados obtenidos al realizar los casos de pruebas para el proceso de elaboración del néctar naranja-mandarina

Casos de pruebas	No. de realizadas	Número de veces que el sistema detectó respuestas correctas o incorrectas	Número de veces que el sistema identificó respuestas correctas o incorrectas
CU Evaluar estado de las variables	15	15	0
CU Evaluar causas	25	15	10
CU Evaluar recomendaciones	20	20	0

DISCUSIÓN

Después de observar las tablas 1 y 2, se comprobó que cuándo el sistema identifica la respuesta del usuario de forma correcta o incorrecta, esto coincide con lo que aparece en los árboles de inferencia de cada uno de los procesos en los anexos 7 y 8 respectivamente [5].

En el caso de evaluar las causas cuándo el sistema no indicó que la respuesta del usuario fuera correcta o incorrecta, en todos los casos, coincide que la variable que se encontraba en alarma dependía de otra variable para encontrar la causa y la misma no se encontraba fuera de rango, lo cual se comprobó al revisar el árbol de inferencia en cada caso.

Cuando esto ocurre, el sistema emite el siguiente mensaje: No se encontraron causas para esta variable, puede que dependa de otra para crear una situación de crisis.

En las figuras 5 y 6 se muestran los procesos de elaboración del queso fresco por vía enzimática y elaboración del néctar naranja-mandarina, donde aparecen los resultados de un entrenamiento de un operador, en cada uno de ellos; como se aprecia, aparece un resultado en cada etapa, las mismas se refieren a la de selección de variables fuera de rango, a la selección de causas cuando una variable está fuera de rango y a la selección de recomendaciones para volver el proceso a la normalidad.

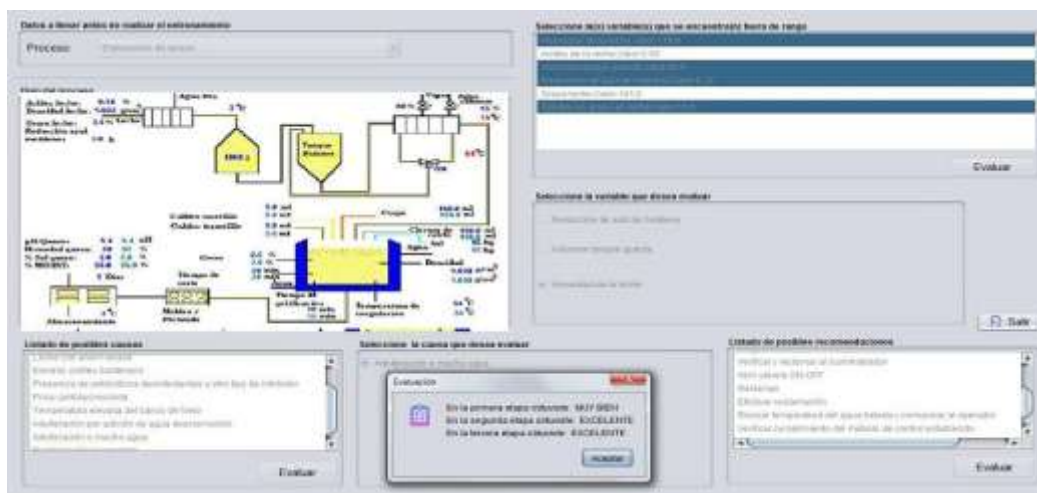


Fig. 5. Proceso de elaboración del queso fresco por vía enzimática

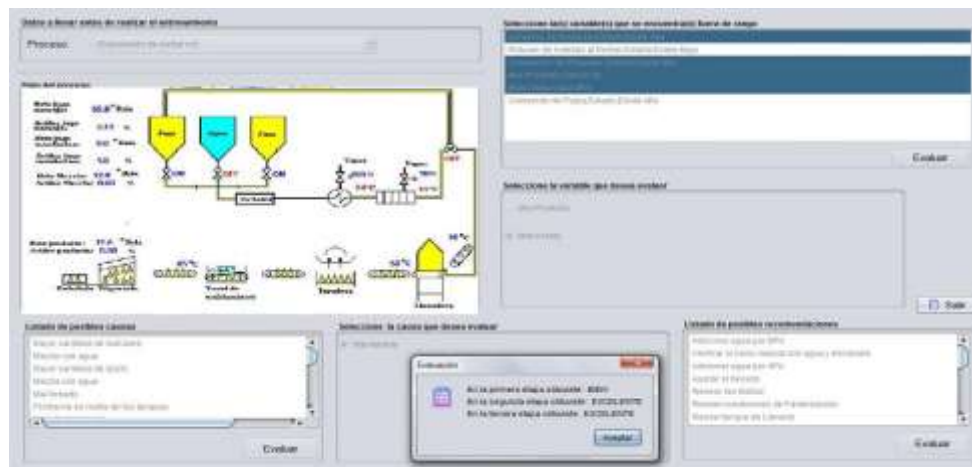


Fig. 6. Proceso de elaboración del néctar naranja-mandarina

CONCLUSIONES

Se obtuvo una herramienta que sirve para entrenar a los operadores de procesos tecnológicos ante diferentes situaciones críticas.

El sistema detecta las alteraciones en el proceso y las informa, además que capacita a los operadores para conocer las causas de las mismas, y aconsejar las posibles acciones a realizar para retornar el proceso a la normalidad.

El sistema brinda al operador los resultados de su evaluación en el entrenamiento y cómo este se va superando en el mismo, así como al tecnólogo principal de un proceso, los resultados de la evaluación y cómo se superan cada uno de los operarios.

Las pruebas de funcionalidad realizadas al sistema demuestran que este funciona de manera adecuada respondiendo correctamente ante las situaciones críticas analizadas.

REFERENCIAS

1. Acosta Gil E. Sistema para el entrenamiento de operarios en procesos tecnológicos en la industria alimentaria. Tesis de pregrado. Cujae, La Habana, Cuba, 2018.
2. Díaz Abréu A. Bioquímica y tecnología de lácteos; Manual de estudio. Facultad de Procesos Químicos y Alimentarias. Ciudad de La Habana, Cuba, Eck, A, Le fromage: Editorial Levoiser, 1984.
3. Cruz Lemus G. Aplicación de Sistemas Expertos y Redes Neuronales Artificiales en el Control de Procesos de la Industria Azucarera y Alimentaria. Tesis de grado de doctor en ciencias técnicas. Cujae, La Habana, Cuba, 2001.
4. Wilson Hernández LG. Sistema experto para el proceso de elaboración de queso fresco por vía enzimática usando reglas de producción. Tesis de pregrado. Cujae, La Habana, Cuba, 2017.
5. Rodríguez Riverón AM. Sistema para gestionar bases de conocimientos en la Industria Alimentaria. Tesis de pregrado. Cujae, La Habana, Cuba, 2017.
6. Openrules. Sitio Oficial de Open Rules. Disponible en: <http://openrules.com/>. 2012
7. Drools. Reference manual Drools 6.1. Disponible en: http://docs.jboss.org/drools/release/6.1.0.Final/droolsdocs/html_single/index.html, 2013.