

Manual de Detección de Fallas de una Línea Piloto de Producción de Quesos basado en Conocimiento Experto

Julio L. Lima^{1,2} y Sergio H. Massino²

(1) Universidad de Morón, Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias, Cabildo 134, (1708) Morón (Buenos Aires)-Argentina

(2) Universidad Nacional de Luján, Departamento de Tecnología, Cruce Rutas 5 y 7, (6700) Luján (Buenos Aires)-Argentina (jlina@s6.coopenet.com.ar; smassino@netone.com.ar)

Resumen

Este trabajo presenta un manual de detección de fallas de una línea piloto de elaboración de quesos, obtenido a partir del conocimiento de un experto en la monitorización de la planta. Utilizando la metodología IDEAL (Identificación, Desarrollo, Ejecución, Actuación, Logro), se realizó la adquisición, la conceptualización y la formalización del conocimiento que domina el experto. Se establecieron modelos conceptual y formal completos y correctos de los conocimientos del experto y a partir de ellos, se realizó el primer prototipo. Este prototipo tuvo una buena respuesta, con un 8% de error en la detección de las fallas que se produjeron durante treinta y dos procesos de elaboración.

Palabras claves: gestión de producción, conceptualización de conocimientos, detección de fallas, sistema experto, producción de quesos

Expert-Knowledge based Fault-Detection Handbook of a Pilot Line for Cheese Production

Abstract

This work presents a fault-detection prototype handbook of a pilot line for cheese production, obtained from the knowledge of an expert in the monitoring of the plant. By using the IDEAL methodology (Identification, Development, Execution, Action, Achievement), the acquisition, the conceptualization and the formalization of the knowledge that the expert handles was done. Correct and complete conceptual and formal models of the expert knowledge were established and from them, the first prototype was developed. This prototype had a good answer, with an error of 8% in the fault-detection produced during thirty two cheese elaborations.

Keywords: production management, knowledge conceptualization, fault-detection, expert system, cheese manufacturing

INTRODUCCIÓN

Dentro del espectro de las empresas alimentarias argentinas, se encuentra una gran cantidad de microempresas o de empresas cuyas actividades se realizan en el ámbito familiar. Muchas de ellas no poseen tecnologías de punta y realizan procesos productivos con equipos organizados en líneas discontinuas, sin ninguna automatización de las tareas de monitorización de las distintas operaciones que las componen. Es común encontrar que para ello cuentan con una sola persona experta, con una formación técnica convencional o con una amplia práctica. En repetidas ocasiones, esa persona es el mismo dueño. En algunos casos, ese experto adquirió una gran experiencia en la práctica de la tecnología por el hecho de manejar continuamente su propia producción y por el afán de perfeccionarse en las técnicas de procesamiento. La Ingeniería del Conocimiento puede proporcionar, mediante la utilización de un Sistema Basado en Conocimientos, una respuesta a este tipo de empresas donde en muchas oportunidades, uno de sus principales problemas es que la línea de proceso no puede funcionar o bien la producción puede sufrir serios contratiempos si el experto no se encuentra presente en un dado momento donde debe poner en juego su "experticia" cuando se produce una falla.

Los Sistemas Basados en Conocimientos o Sistemas Expertos son sistemas de información que se originan en conocimientos organizados, propios de una cierta área específica de la experiencia humana. Se los desarrolla para la solución de problemas, como la detección de fallas en procesos industriales de producción de manufacturas, capturando la destreza de operadores expertos. Como el término "experto" es sinónimo de competencia y especialización, el éxito de un sistema de este tipo se debe a que solamente trata un dominio limitado. El aspecto fundamental para el éxito de un sistema de este tipo es la correcta conceptualización de la "experticia" del técnico en forma de un Modelo Conceptual. Dicho modelo puede transformarse en un Modelo Formal adecuado para una implementación del mismo en un paradigma de programación o una forma gráfica de presentación.

Los sistemas expertos se desarrollaron con mayor o menor éxito durante los últimos veinticinco años. En la actualidad suelen aplicarse a los sistemas industriales, comúnmente en conjunto con otras técnicas de Inteligencia Artificial como las redes neuronales y los algoritmos genéticos. En muchos casos se integran a grandes sistemas de información industrial. Hay un importante número de aplicaciones para detección y diagnóstico de fallas, monitorización y control de procesos industriales. Se encuentran desarrollos de sistemas expertos de uso industrial para el diagnóstico de fallas en procesos químicos (Qian et al., 2003; 2005), para la detección y el diagnóstico de fallas en sistemas de generación y de turbinas de vapor (Blanco et al., 2001; Ur'ev y Agapitova, 2001), en equipos de dragado de puertos (Tang y Wang, 2008), en líneas de procesamiento de minerales (Patan y Korbicz, 2006; Stein et al., 2003), en sistemas de producción de manufacturas (Riascos et al., 2004), en motores y máquinas sometidas a tensiones mecánicas (Ebersbach y Peng, 2008; Liu et al., 2008; Wu et al., 2007). Los sistemas expertos son realmente elementos positivos cuando se los entiende como complementos de la tarea de los expertos humanos y no como reemplazantes de ellos (Nurminen et al., 2003).

En este Trabajo se describe la realización del primer prototipo de un Manual de detección de las fallas que se producen durante el funcionamiento de una planta de elaboración de quesos de tipo piloto, a partir de los conocimientos propios de un técnico experto en la monitorización del funcionamiento de una planta de ese tipo. No se trata de una tarea de control del funcionamiento de la planta sino solamente de monitorización del mismo. La planta sobre la que se realizó este Trabajo responde al tamaño y las características de las que se encuentran en las empresas del tipo citado.

METODOLOGÍA

El prototipo del Manual es una aplicación de la metodología I.D.E.A.L., para desarrollar un sistema basado en conocimientos. Esta metodología cuyo nombre es el acrónimo de las fases que la componen (Identificación, Desarrollo, Ejecución, Acción, Logro), es apta para la generación de sistemas informáticos con requisitos abiertos y diversidad, reutilizables e integrables. Plantea en forma sistemática una serie de etapas a seguir para desarrollar un sistema basado en conocimientos: Definición del Problema, Viabilidad del Proyecto, Adquisición, Conceptualización y Formalización de conoci-

mientos, Implementación del Prototipo, Evaluación de la Implementación. Propone un ciclo de vida en espiral cónico en tres dimensiones, en donde cada fase del ciclo finaliza con el desarrollo de un prototipo. El prototipo desarrollado conduce a la siguiente fase del ciclo mediante la incorporación sistemática de conocimientos producidos por el propio uso del mismo (Gómez et al., 1997). Las etapas más importantes del desarrollo de cada uno de los prototipos son la Adquisición, la Conceptualización y la Formalización de los Conocimientos que dominan los expertos y la Evaluación de los Conocimientos implementados como un sistema de información.

El primer prototipo o Prototipo de Demostración del Manual se realizó sobre una de las líneas de procesamiento de alimentos que se encuentran en la Planta Piloto de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Luján. En esta línea, cuyo funcionamiento es monitorizado por un experto, la producción de quesos tiene un objetivo netamente experimental y formativo. En lo referente a quesos de pasta blanda, en el momento del desarrollo de este Trabajo, se realizaban en promedio ocho elaboraciones mensuales con una producción promedio mensual de 1200 kg de quesos de ese tipo.

La producción tradicional de quesos de pasta blanda se realiza en cinco equipos industriales convencionales. En los equipos se realizan las operaciones mediante las cuales la leche pasteurizada se transforma en queso (Fig. 1). Ningún equipo está controlado en forma automática. La leche pasteurizada se descarga en la tina quesera, mientras que una pequeña porción se coloca en el activador para que, mediante el agregado del fermento y la regulación de la temperatura, se logre la activación del mismo. Una vez activado, se incorpora a la tina junto con el cloruro de calcio, y se ajusta la temperatura de la leche a la temperatura óptima de crecimiento según el fermento a utilizar. Se deja madurar y se vuelve a ajustar la temperatura para el corte. Se agrega el cuajo microbiano en polvo. Se deja en reposo hasta que se produzca la coagulación. Se corta con una lira y se amasa hasta obtener el grano adecuado. Luego se extrae la masa cuajada y se moldea el queso sobre la mesa de trabajo. Se realiza un prensado leve del queso, usando su propio peso hasta que alcanza el valor de acidez deseado. Se pasa el queso al saladero donde se lo sumerge en salmuera fría. Finalizado el salado, se lo pasa a la zona de envasado y almacenamiento en frío de la planta, para lograr la maduración. En la tina quesera, la leche se agita mediante una paleta agitadora accionada eléctricamente. Para el calentamiento de la leche se utiliza vapor que circula por el encamisado del equipo. Para la activación del fermento se utiliza calentamiento eléctrico. Para este Trabajo, el dominio incluye los cinco equipos de la línea y sus servicios de vapor y electricidad.

El funcionamiento de la línea es correcto cuando, por razones operativas, uno de los equipos está funcionando en forma correcta y el resto está detenido. En el funcionamiento de la línea hay una falla cuando, por lo menos, uno de los equipos falla. La línea está detenida por razones operativas cuando todos los equipos están detenidos.

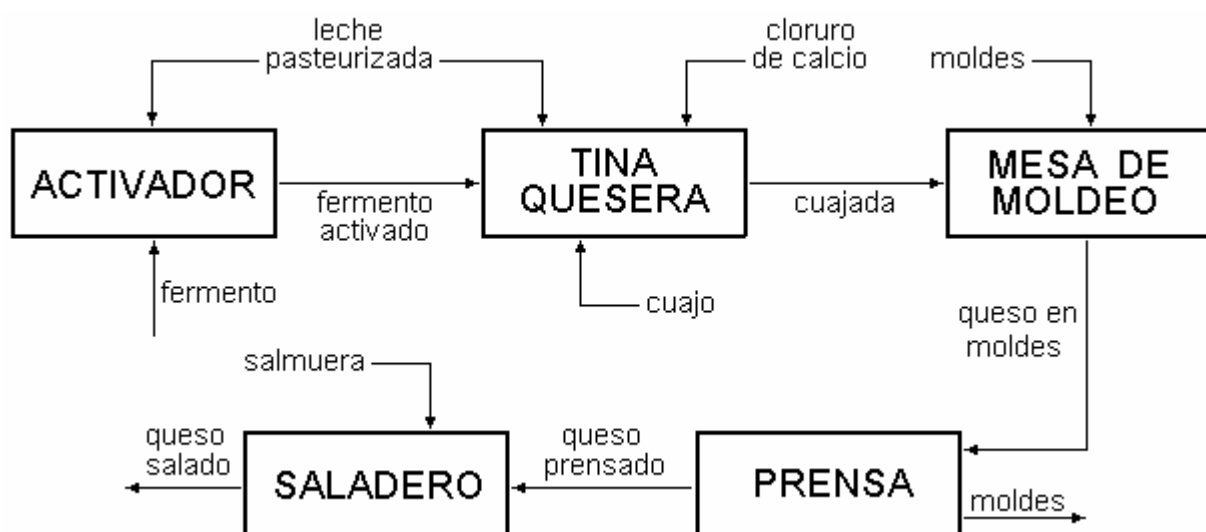


Fig. 1: Línea de producción de quesos de pasta blanda

La tarea inicial fue lograr la identificación de los aspectos sobre los cuales debe realizarse la monitorización del funcionamiento de la línea de acuerdo al razonamiento del experto, en el marco de una actividad avalada por los principios de la Ingeniería de Procesos y siguiendo una metodología genérica de conceptualización propuesta por el Ingeniero del Conocimiento.

Para determinar la Viabilidad del Proyecto se utilizó la Métrica de Maté y Pazos (Gómez et al., 1997). Para ello, se realizaron entrevistas con la gerencia de la planta. Ellas permitieron analizar la viabilidad de desarrollar un sistema basado en conocimientos en forma de un manual de fallas, capaz de reemplazar al experto humano o de colaborar con él en las actividades propias de la monitorización del proceso. La métrica obtiene un valor de la viabilidad utilizando como parámetros a la plausibilidad, la adecuación, la justificación y la posibilidad de éxito del sistema a realizar.

Para la Adquisición del Conocimiento así como para precisar la Definición del Problema se realizaron numerosas entrevistas con el técnico experto en el funcionamiento de la línea de proceso, se filmaron y fotografiaron distintos aspectos de la línea en operación y se consultó la documentación técnica de los equipos que componen la línea de producción. A la vez, se adquirieron los conocimientos públicos acerca de los productos a elaborar y de las técnicas de elaboración usuales (Scott, 2002).

En la etapa de Conceptualización se realizó un exhaustivo análisis del sistema, obteniendo los conocimientos estratégicos, tácticos y fácticos que maneja el experto cuando monitoriza el funcionamiento de la línea. La conceptualización de la tarea realizada por el experto se concretó en un Modelo Conceptual que se corresponde con la estructura y la funcionalidad conceptual del sistema. Ese modelo se plasmó en el Mapa de Conocimientos del comportamiento del experto en la detección de fallas producidas durante el funcionamiento de la línea.

Para la formalización del Modelo Conceptual se utilizaron el Formalismo de Marcos para expresar los conocimientos declarativos del dominio (los conceptos), las propiedades de dichos conceptos y las dependencias entre ellos, y el Formalismo de Sistemas de Producción para expresar los otros conocimientos del dominio, como un conjunto de acciones básicas (usando reglas Si – Entonces). También se formalizaron los Conocimientos de Control que utiliza el experto (mediante el Formalismo de Sistemas de Producción).

La implementación del Prototipo de Demostración del Manual se realizó en papel. La evaluación del mismo (planteado como una presentación en pantalla) fue realizada por el propio experto y, en ausencia del mismo, por aprendices de técnicas queseras durante las elaboraciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el Test de Viabilidad se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 1. A partir de estos valores se concluyó que era viable la realización de un manual de fallas para esa línea aplicando la Ingeniería del Conocimiento, ya que el valor medio final de la Viabilidad supera el 60%. Se acordó con la gerencia que de inmediato, dada la naturaleza educativa de las tareas que se realizaban en el lugar y su compromiso con la comunidad de formar expertos humanos, no era aconsejable una implementación como un sistema informático. Los primeros prototipos, de Demostración y de Investigación (en el marco de lo establecido en la metodología I.D.E.A.L.) se realizarían en forma de un sistema que actuase en forma de un documento escrito o una presentación en pantalla del mismo.

Tabla 1: Resultado del Test de Viabilidad

PROPIEDAD	PESO	VALOR MEDIO (%)
Plausibilidad	8	76,2
Adecuación	8	38,7
Justificación	3	94,0
Éxito	5	69,4
TOTAL		64,5

A partir de cada uno de ellos se aumentaría la calidad de los conocimientos, con el aporte de otros expertos o usuarios durante el mantenimiento perfectivo. Por último, se concretaría el tercer prototipo (prototipo de Campo) como un sistema informático y el prototipo final (prototipo de Operación) como un sistema informático transferible.

Con los conocimientos adquiridos, en una etapa de análisis se identificaron los que utiliza el experto cuando realiza la tarea de detección de fallas. Los conocimientos del experto se dividieron en tres grupos: los propios de la técnica de producción (conocimientos estratégicos), la forma en la cual el experto conduce la monitorización de la producción (conocimientos tácticos) y los hechos propios de una dada instancia de producción (conocimientos fácticos). La conducción del establecimiento orientaba a sus expertos a asegurar la calidad de los productos mediante una metodología en la detección de fallas basada en el logro de productos con calidad, sin tener en cuenta la productividad. De acuerdo a esa normativa interna, la presunción de falla se consideraba como una falla real. Esto permitió simplificar la incertidumbre lógica de los conocimientos fácticos. También se identificaron metaconocimientos, es decir, conocimientos que se utilizan para tomar decisiones que modifican las instancias de producción según la aparición de ciertos hechos especiales.

Luego se realizó una síntesis conceptual, obteniendo una serie de documentos gráficos que constituyen los Modelos Estático y Dinámico de la tarea que realiza el experto. En el Modelo Estático se identificaron cuatro conceptos (Equipo, Componente, Servicio, Materia) y se realizaron cuatro documentos que definen el Modelo: el Diccionario de Conceptos (la definición precisa de los conceptos), la Tabla Concepto-Atributo-Valor (la caracterización de los conceptos), el Modelo Relacional (las relaciones entre los conceptos) (Fig. 2) y el Glosario de Términos (la terminología específica que utiliza el experto). Además se documentaron los conocimientos estratégicos mediante Arboles de Descomposición Funcional, los conocimientos tácticos mediante Seudorreglas y los conocimientos fácticos mediante Tablas de descripción de Atributos.

En el Modelo Dinámico se documentaron todas las tareas parciales y los procesos que constituyen el modelo funcional de comportamiento del experto. Se realizaron gráficos que explicitaron la jerarquía de las distintas tareas y tablas donde dichas tareas quedaron definidas y descritas en su totalidad. Para cada tarea se definió el proceso necesario para realizarla. En la Tabla 2 se ilustra la definición de la tarea de verificar el funcionamiento del agitador de la tina y el proceso ligado a ella.

Por último, el Modelo Conceptual completo del comportamiento del experto se integró en mapas de conocimientos. Dada la complejidad del mismo, se graficó el Mapa de Conocimientos del contexto del funcionamiento de toda la línea de producción de queso (Fig. 3) y varios Mapas de Conocimientos para el funcionamiento de cada uno de los equipos.

La representación formal del sistema modelado conceptualmente se realizó mediante un Modelo híbrido de Marcos y Sistemas de Producciones. Los Marcos Clase se utilizaron para representar los conceptos identificados en base a un conjunto de propiedades comunes.

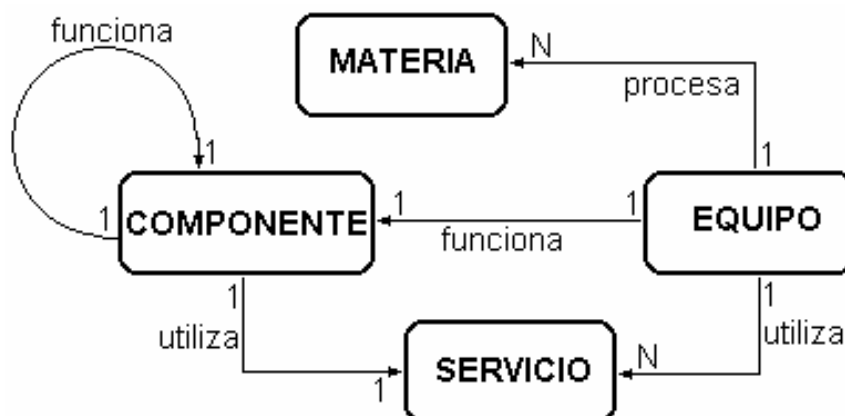


Fig. 2: Modelo relacional

Tabla 2: Tarea y proceso de Verificar el funcionamiento del Agitador de la Tina

Tarea : VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL AGITADOR DE LA TINA	
Definición de la Meta	Deducir el estado de funcionamiento del Agitador de la tina, a partir de la información relevada por el experto en dicho equipo, en los puntos detectados en los cuales se pueden producir fallas.
Entradas	Estado de conservación del agitador de la tina y de su transmisión Estado de funcionamiento del motor del agitador de la tina
Salidas producidas	Se verifica si el Agitador de la tina funciona bien o falla (identificando la falla).
Proceso : VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO DEL AGITADOR DE LA TINA	
Propósito	Determinar el Valor (Funciona o Falla) del Concepto Componente, Nombre Agitador, Atributo Funcionamiento. En caso de falla, también determinar el Valor (Falla) del Concepto Equipo, Nombre Tina, Atributo Funcionamiento.
Información necesaria	Concepto : Componente Nombre : Agitador Atributo : Estado de conservación
	Concepto : Componente Nombre : Transmisión del Agitador Atributo : Estado de conservación
	Concepto : Componente Nombre : Motor del Agitador Atributo : Funcionamiento Valor : Funciona
Acciones	Especificadas en las seudorreglas AgitFun o AgitFal

Los cuatro Marcos Clase representados en este trabajo, en función de sus propiedades, son MC-Equipo, MC-Componente, MC-Servicio y MC-Materia.

Para el Marco Clase MC-Equipo se identificaron cinco Marcos Instancia (Activador, Tina, Mesa de moldeo, Prensa, Saladero).

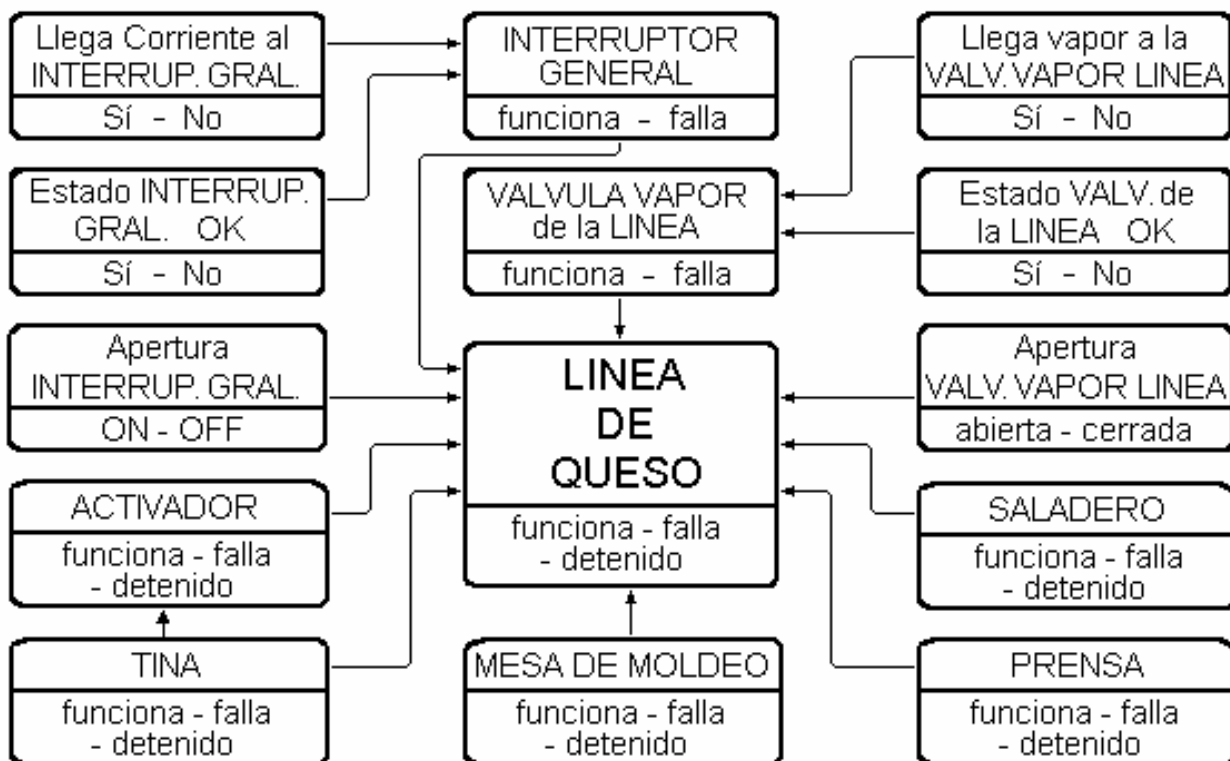


Fig. 3: Mapa de conocimientos del contexto del funcionamiento de toda la línea

Para el Marco Clase MC-Componente, se identificaron diez Marcos Instancia (Baño termostatzado, Agitador, Lira, Motor del agitador, Transmisión del agitador, Interruptor de la Tina, Interruptor del Activador, Interruptor General, Válvula de Vapor de la Tina, Válvula de Vapor de la Línea); para el Marco Clase MC-Servicio, se identificaron seis Marcos Instancia (Corriente al Motor, Corriente al Interruptor de la Tina, Corriente al Interruptor del Activador, Corriente al Interruptor General, Vapor a la Válvula de Vapor de la Tina, Vapor a la Válvula de Vapor de la Línea) y para el Marco Clase MC-Materia, once Marcos Instancia (Leche pasteurizada, Fermento, Fermento activado, Cloruro de calcio, Cuajo, Cuajada, Molde, Queso en molde, Queso prensado, Queso salado, Salmuera).

También se identificaron las Relaciones entre conceptos y las Propiedades y Facetas de cada concepto. En la Fig. 4 se ilustran las Relaciones entre los conceptos (expresados como Marcos). En la Tabla 3, como ejemplo, se indican las Propiedades del Marco Clase MC-Componente.

El Sistema de Producción está compuesto por cuarenta y seis reglas booleanas (la Base de Reglas). Su misión es la descripción de las acciones (las inferencias) que llevan a modificar los valores de los atributos de los conceptos representados como Marcos. Como ejemplo, en la Fig. 5 se presenta el grupo de reglas mediante el cual se infiere el Activador está fallando.

El Conocimiento de Control, factor distintivo del comportamiento experto se identificó a partir de los metaconocimientos obtenidos. Se utilizó un Modelo de Búsqueda en Amplitud, lo cual ajustaba con la heurística que el experto desarrollaba para la detección de las fallas. Se definieron siete metarreglas para particionar las reglas en conjuntos de reglas. Como ejemplo, en la Fig. 6 se ilustra una metarregla que permite decidir cuáles reglas se deben utilizar, de acuerdo al funcionamiento y apertura del interruptor eléctrico y de la Válvula de vapor de la tina.

Los Modelos Conceptual y Formal obtenidos fueron evaluados por el experto en numerosas oportunidades y corregidos en función de los errores detectados en cada caso, hasta considerarlos completos y correctos. Las versiones finales son las que se describen en este artículo, y son las bases para la implementación del primer prototipo, en el marco de lo acordado con la gerencia de la planta.

A partir del Modelo Formal, se implementó en papel el Prototipo de Demostración del Manual. Es una guía con la cual, sobre una serie de hechos obtenidos en forma experimental, se puede llegar a inferir si se produce o no una falla en el funcionamiento de la línea. Está compuesto por el conjunto de reglas obtenidas y por el Glosario de Términos. Su validación se realizó directamente sobre la actividad productiva en varios días de producción, trasladado a una presentación en pantalla que permitía realizar las inferencias mediante vínculos entre las diapositivas de la presentación.

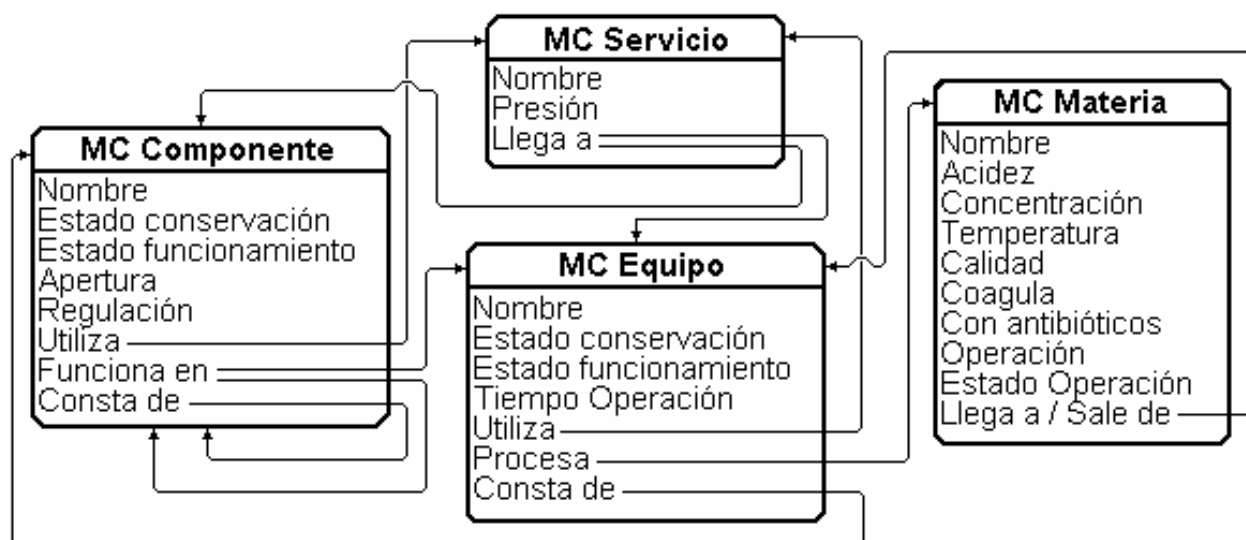


Fig. 4: Relaciones entre Marcos

Tabla 3: Propiedades del Marco Clase MC-Componente

MC-Componente					
PROPIEDAD	FACETAS				
	Tipo Ranura	Cardinalidad Mín /Máx	Multiva- luado	Propiedad General	Valores Permitidos
Nombre	Conjunto de caracteres	1 / 1	NO	--	Los Nom- bres de los diez com- ponentes
Estado de Con- servación OK	Booleano	1 / 1	NO	--	Verdadero, Falso
Estado de Fun- cionamiento	Conjunto de caracteres	1 / 1	NO	--	Funciona, Falla
Apertura	Conjunto de caracteres	1 / 1	NO	--	ON, OFF, Abierta, Cerrada
Utiliza	Marco	1 / 1	NO	MC-Servicio	--
Funciona en	Marco	1 / 1	NO	MC-Equipo MC-Componente	--
Consta de	Marco	1 / 2	SI	MC-Componente	--

Fue evaluado mediante la utilización del mismo por alumnos de la Carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Nacional de Luján y por aprendices de técnicas de elaboración quesera. Fue usado por ellos en treinta y dos ocasiones, en presencia y en ausencia del experto durante las elaboraciones, para detectar las razones que producían fallas, de acuerdo a la forma realizada por el experto para asegurar la producción de queso con la calidad establecida por los estándares de producción de la Planta. Durante esas elaboraciones, el uso del Prototipo de Demostración del Manual en la detección de fallas produjo un 6% de error. Se entiende que esa respuesta es tan favorable porque el prototipo es elemental. Su valor principal reside en el hecho que se han identificado una gran cantidad de conocimientos, en especial los de tipo estratégico y táctico. Este Manual, realizado para una línea piloto que se utiliza con razones puramente educativas, dista de ser un trabajo que permita resolver casos donde los aspectos ligados a la productividad de la instalación tomen cierto peso con respecto a los de la calidad y se deban responder afirmaciones con algún grado de incertidumbre.

<p>REGLA ActivFal: El Activador falla Si la Acidez del fermento no está entre XX°D y YY°D.</p> <p>REGLA ActivFal1: La Acidez del fermento es menor que XX°D Si el fermento que se utiliza no es el adecuado para el producto, o Si la concentración del fermento es menor que FF ppm, o Si la temperatura en el baño termostatzado no está entre SS°C y TT°C, o Si el tiempo de operación es menor que RR min.</p> <p>REGLA ActivFal2: La Acidez del fermento es mayor que YY°D Si el fermento que se utiliza no es el adecuado para el producto, o Si la concentración del fermento es mayor que GG ppm, o Si el tiempo de operación es mayor que QQ min.</p> <p>REGLA ActivFal11: La temperatura en el baño termostatzado no está entre SS°C y TT°C Si el baño termostatzado no funciona, o Si el baño termostatzado no está encendido.</p>

Fig. 5: Reglas mediante las cuales e infiere si el Activador falla

<p>METARREGLA IntsTinaFun SI el Interruptor de la Tina funciona, y está en ON, y La Válvula de vapor de la Tina funciona, y está abierta ENTONCES Dirigir la monitorización con las reglas Tina1Fun, Tina1Fal1, Tina1Fal2, Tina2Fun, Tina2Fal, Tina3Fun, Tina3Fal, AgitFun, AgitFal, MotAgitFun, MotAgitFal, IntTinaFun, IntTinaFal, ValVTinaFun, ValVTinaFal, TinaDet ActivDet, MesaDet, PrenDet, SaladDet.</p>

Fig. 6: Metarregla mediante la cual se dirige la inferencia a un grupo de reglas como resultado de la verificación del funcionamiento y apertura del interruptor eléctrico y de la válvula de vapor de la tina

La realización del mantenimiento perfectivo de este prototipo será la base para el desarrollo del Prototipo de Investigación. Para ese desarrollo se espera incorporar un nuevo experto con experiencia ganada en microempresas. La finalidad es perfeccionar el Modelo Conceptual, mejorando la percepción de los conocimientos fácticos (planteando posición ya no tan conservadora) y, en conjunto con el experto actual, analizar casos de inferencias a realizar sobre conocimientos inciertos. Se espera incluir distintas variantes no contempladas en éste y mejoras, tales como el tiempo de respuesta a la situación de falla (hoy no tenido en cuenta), y la utilización de la lógica difusa para la estimación de hechos que implican incertidumbre como la interpretación de ruidos u olores como indicio de falla. El Prototipo de Investigación mantendrá el formato actual de sistema de información no automatizado. Se espera implementar los restantes prototipos como sistemas informáticos, instalables en computadoras personales, apuntando a sistemas de monitorización transferibles. La información se adquirirá de la línea mediante sensores conectados por una interfaz o, si eso no es posible, para su desarrollo se realizará una simulación del proceso con un programa generador de fallas aleatorias. Los marcos del Modelo Formal obtenido permiten codificar una programación orientada a objetos, sobre una plataforma comercial afín para el desarrollo de sistemas basados en conocimientos.

CONCLUSIONES

Siguiendo la Metodología I.D.E.A.L., se desarrolló el primer prototipo o Prototipo de Demostración de un Manual de las fallas producidas durante las elaboraciones de quesos de pasta blanda, basado en conocimiento experto. Se realizó sobre una planta piloto ubicada en la Universidad Nacional de Luján, de características similares a las plantas que se encuentran en las microempresas. Las primeras actividades fueron: demostrar la viabilidad del desarrollo del Manual como un sistema basado en conocimientos y la adquisición de una cantidad importante de conocimientos sobre la monitorización realizada por el experto.

A partir de ellos, se obtuvo un Modelo Conceptual y un Modelo Formal de conocimientos, los cuales se calificaron como completos y correctos desde el punto de vista de los conocimientos que pone en juego el experto para realizar su tarea.

Sobre la base del Modelo Formal, se implementó sobre papel el Prototipo de Demostración del Manual. El mismo se evaluó en elaboraciones convencionales de queso realizadas por aprendices, con la presencia o no del experto. Los resultados fueron muy favorables, pero se tiene en cuenta que este prototipo es elemental y necesita una importante mejora en sus capacidades antes de trasladarlo a un producto transferible. Para llegar a esta meta se realizarán nuevos prototipos consecutivos, siendo cada uno de ellos la base para lograr otro de mayor calidad, a través de las fases respectivas de mantenimiento perfectivo.

REFERENCIAS

Blanco, B., N. Mata y L. Serrano; *Desarrollo de un sistema experto para la operación de un sistema de generación de vapor*, Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela: 16 (1), 119-124 (2001)

- Ebersbach, S. y Z. Peng; *Expert system development for vibration analysis in machine condition monitoring*, Expert Systems with Applications: 34 (1), 291-299 (2008)
- Gómez, A., N. Juristo, C. Montes y J. Pazos; *Ingeniería del conocimiento*, 1ª edición, 1-819, CEURA, Madrid, España (1997)
- Liu, X., F. Xuan, J. Si y S. Tu; *Expert system for remnant life prediction of defected components under fatigue and creep-fatigue loadings*, Expert Systems with Applications: 34 (1), 222-230 (2008)
- Nurminen, J., O. Karonen y K. Hätönen; *What makes expert systems survive over 10 years*, Expert Systems with Applications: 24 (2), 199-211 (2003)
- Patan, K. y J. Korbicz; *Fault detection in catalytic cracking converter by means of probability density approximation*, Actas del 6º IFAC Symposium (SAFEPROCESS 2006), 84-89, Beijing, China, 30 de agosto al 1 de Setiembre (2006)
- Qian, Y., X. Li, Y. Jiang y Y. Wen; *An expert system for real-time fault diagnosis of complex chemical process*, Expert Systems with Applications: 24 (4), 425-432 (2003)
- Qian, Y., M. Zheng, X. Li y L. Lim; *Implementation of knowledge maintenance modules in an expert system for fault diagnosis of chemical process operations*, Expert Systems with Applications: 28 (2), 249-257 (2005)
- Riascos, L., L. Moscato y P. Miyagi; *Detection and Treatment of Faults in Manufacturing Systems Based on Petri Nets*, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.: 36 (3), 280-289 (2004)
- Scott, R.; *Fabricación de queso*, 2ª edición, 39-212, Acribia, Zaragoza, España (2002)
- Stein, E., M. Pauster y D. May; *A knowledge-based system to improve the quality and efficiency of titanium melting*, Expert Systems with Applications: 24 (2), 239-246 (2003)
- Tang, J. y Q. Wang; *Online fault diagnosis and prevention expert system for dredgers*, Expert Systems with Applications: 34 (1), 511-521 (2008)
- Ur'ev, E. y Y. Agapitova; *Problems of Creating Technical Diagnostics Systems for Turbine Units*, Thermal Engineering: 48 (11), 903-908 (2001)
- Wu, J., Y. Wang y M. Bai; *Development of an expert system for fault diagnosis in scooter engine platform using fuzzy-logic inference*, Expert Systems with Applications: 33 (4), 1063-1075 (2007)