

Modelado dinámico del proceso de trazabilidad de producto con redes de Petri para WorkFlow (WF-Net)

Dynamic Modeling of the Product Traceability Process with Petri Networks for WorkFlow (WF-Net)

ÓSCAR AMAURY ROJAS ALVARADO*

ÁNGELA GÓMEZ**

LUISA TUMBAJOY***

JUAN MARTÍN VELASCO****

RESUMEN

La obtención de una automatización integral de procesos de producción debe tener en cuenta diferentes aspectos, como el proceso mismo, la estructura organizativa de la empresa, los recursos y la gestión del negocio. Para alcanzar un sistema integrado que maneje los distintos aspectos es necesario disponer de modelos de comportamiento que permitan evidenciar el conocimiento de los procesos del negocio y la supervisión de este. En el presente artículo se exponen los resultados del modelado dinámico del proceso de trazabilidad de producto con redes de Petri para WorkFlow (WF-Net).

Palabras clave: trazabilidad, redes de Petri, WorkFlow, automatización industrial, modelado dinámico, WorkFlow-Nets (WF-Nets).

FECHA DE RECEPCIÓN: 6 DE MAYO DE 2012 • FECHA DE APROBACIÓN: 2 DE OCTUBRE DE 2012

*Ingeniero en Electrónica, Universidad del Cauca (1996). Especialista en Informática Industrial (2001). Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones (2008). Candidato a Doctor en Ciencias Aplicadas, área de Automatización Industrial, Universidad de Los Andes, Venezuela. Miembro de los comités SP-88 y SP-95 de la Sociedad Internacional de Automatización (ISA). Coordinador de la línea de Automatización del Grupo en Automática Industrial, Universidad del Cauca. Correo electrónico: orojas@unicauca.edu.co

**Ingeniera en Automática Industrial de la Universidad del Cauca. Correo electrónico: angelagomez@unicauca.edu.co

***Ingeniera en Automática Industrial, Universidad del Cauca. Correo electrónico: ltumbajoy@unicauca.edu.co

****Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca, Magíster en Dirección Universitaria, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Doctor en Ciencias de la Educación. Profesor titular del Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control e investigador del grupo de I+D en Automática Industrial, Universidad del Cauca. Correo electrónico: jmvelasc@unicauca.edu.co

ABSTRACT

In order to obtain an integrated automation of production processes different aspects must be taken into account, such as the process itself, the company's organizational structure, resources and business management. To reach an integrated system that manages the abovementioned aspects it is necessary to have behavior models that make it possible to demonstrate the knowledge of the business process and its supervision. The present article shows the results of the dynamic modeling of the product traceability process with Petri networks for Workflow (WF-Net).

Keywords: Traceability, petri networks, Workflow, industrial automation, dynamic modeling, Workflow-nets (WF-Nets).

Introducción

En la actualidad, las exigencias del mercado y la competencia obligan a las organizaciones a ser más eficaces y eficientes en todas sus áreas y funciones, como servicio al cliente, mantenimiento, inventario, producción, compras, ventas, supervisión y control de los procesos de producción. De igual manera, las empresas deben estar preparadas para adaptar sus productos rápidamente a los cambios en las necesidades y preferencias del mercado. La integración empresarial es un aspecto fundamental para romper con las barreras comerciales y cumplir las exigencias de la economía global. De esta manera, los procesos de integración empresarial dependen del conocimiento y del flujo libre de información (Chacón et ál., 2002).

El proceso de automatización integrada implica un conocimiento pleno de la organización, del proceso tecnológico y de su interacción con el exterior. Para lograr este conocimiento es necesario el uso de distintas técnicas y tecnologías para entender el proceso de producción y así poder describirlo, definir estrategias y lograr hacerle un seguimiento dentro del marco organizativo de la empresa. De igual modo, definir el conjunto de aplicaciones necesarias para soportar todo el proceso de toma de decisiones y las actividades asociadas en la adquisición, control y seguimiento de los procesos internos y externos del sistema de producción que permitan modificar el estado del proceso (Chacón et ál., 2002).

Para lograr este propósito es indispensable recurrir al modelado empresarial con el objetivo de exteriorizar el conocimiento del negocio, agregando valor a la empresa o compartiéndolo según la necesidad. Los modelos deben representar la estructura, el comportamiento y la organización de la empresa, identificándose así los esquemas de control y coordinación de los procesos de negocio y los ambientes de toma cooperativa de decisiones (Vernadat, 2002).

La estructura general de los procesos del negocio permite —por ejemplo, el proceso de trazabilidad de producto— exteriorizar el conocimiento de la empresa mediante la obtención de modelos. Diversas técnicas se han propuesto para realizar el modelado desde la perspectiva de los procesos de negocio, aunque la mayoría de ellas carecen de una semántica formal definida (WMP, 2001).

En este aspecto las redes de Petri para WorkFlow (WF-Net) se presentan como un método formal de especificación de procesos de negocios estructurados, destacándose de otros métodos debido a su semántica, por su modo natural de representación gráfica, por la expresividad de información que contienen sus estructuras de enrutamiento y sus disparadores, así como por su fundamento matemático y las técnicas de análisis que ofrecen.

Este artículo tiene como objetivo la aplicación de las redes WF-Net en el modelado del proceso de trazabilidad de producto. Se expondrá de la siguiente manera: se inicia con la explicación del concepto de trazabilidad y los tipos de trazabilidad exigidos a las industrias del sector productivo. Luego se describen los conceptos teóricos de WorkFlow y el formalismo de las WF-Net. Enseguida se presenta la aplicación de las WF-Net en el modelado del proceso de trazabilidad de producto. Posteriormente, se hace una breve ejemplificación del modelado en una empresa productora de cerveza de la región y finalmente se incluyen las conclusiones del trabajo.

Proceso de trazabilidad de producto

Para las empresas del sector industrial nacional es de especial importancia garantizar la calidad tanto de sus productos como de los procesos que realizan para la obtención de dichos productos finales, debido a que los consumidores son cada vez más exigentes a la hora de realizar sus compras, asegurándose de que los productos por adquirir cumplan con ciertas normas y certificaciones que les garantice su calidad e inocuidad. Para ello se desarrolló el concepto de trazabilidad, que es una herramienta de gestión del riesgo que permite encontrar y seguir el rastro a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de las materias primas destinadas a la producción de alimentos o una sustancia destinada a ser incorporada en alimentos o con probabilidad de serlo (AIA, 2006).

El concepto de trazabilidad nace en la Unión Europea, debido a las sucesivas crisis alimentarias ocurridas en su seno, como la crisis de las dioxinas, las encefalopatías de vacuno y de ovino y la fiebre porcina. En este sentido, se entiende el proceso de trazabilidad como el conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas (AECOC, 2008).

En este sentido, saber de forma precisa dónde están los lotes de productos a lo largo de la cadena de suministros se refiere a una trazabilidad descendente o seguimiento (*tracking*); mientras que el poder seguir exactamente el origen de la mercancía y los procesos por los que ha pasado antes de llegar al punto final se conoce como trazabilidad ascendente o rastreo (*tracing*) (ISA, 2006). De esta manera, se garantiza la disponibilidad de la información de modo rápido y seguro, la continuidad en el flujo de información, reducción de controles manuales, reducción de costos logísticos y de administración de la información, mejor control del rendimiento de materia prima y material de empaque, obtención de la información relacionada con número de lote, fecha de vencimiento y elaboración, información exacta de la ubicación, procedencia, fabricación y envasado de productos.

El proceso de trazabilidad de producto se puede clasificar en tres componentes complementarios: trazabilidad hacia atrás, trazabilidad de proceso o interna y trazabilidad hacia delante. La trazabilidad hacia atrás (THA) permite, a partir de un producto intermedio o final, obtener de manera ágil la información relevante asociada a dicho producto, hasta llegar al origen de las materias primas. Puntos a considerar en cada empresa serán el nombre y dirección de los proveedores, la mercancía recibida con su identificación, número de unidades y fecha de duración mínima o la fecha de recepción.

La trazabilidad interna o del proceso (TI) permite vincular los productos que entran en una empresa con los que salen. Es necesario tener en cuenta las divisiones, cambios o mezclas de lotes o agrupaciones, así como el número de puntos en los que es necesario establecer registros o nexos con el sistema de autocontrol ya establecido. Aspectos relevantes en este punto serán la identificación de los productos obtenidos como resultado de las operaciones desarrolladas en la empresa, a partir de qué productos, número de unidades de venta producida o qué procesos se han llevado a cabo y cuándo.

La trazabilidad hacia delante (THD) permite conocer dónde se ha distribuido un determinado producto. Con ella, a partir de una materia prima, se puede conocer el producto final del que ha formado parte. Se deberán tener en cuenta en cada empresa el nombre y dirección de los clientes, las mercancías distribuidas y la fecha de salida del establecimiento.

De este modo, se puede evidenciar que aplicar un proceso de trazabilidad de producto permite gestionar y organizar la empresa de manera más eficiente, así como obtener una mayor eficiencia en procesos productivos, controlar el flujo de productos, mejorar la gestión de costos de operaciones, tener seguridad sobre la calidad de los productos finales, ofrecer la información al cliente sobre el producto que consume, su origen y, en caso de errores, localizar el punto exacto dónde se ha producido y los lotes defectuosos para retirar de manera inmediata el resto del lote de producción.

Para realizar el modelado del proceso de trazabilidad de producto es indispensable determinar las funciones y flujos de información de cada ámbito funcional de la empresa que tienen incidencia sobre los componentes de trazabilidad. Por ende, se procedió a definir el tipo de procedimientos que se tenía que realizar dentro de cada componente de trazabilidad con el objetivo de reunir toda la información necesaria.

Para lograr la definición y realización de procedimientos que permitan la consecución y documentación de información relevante para la trazabilidad hacia atrás, interna y hacia delante, se realizó el análisis al Modelo Siemens (Gómez y Manquillo, 2007) y el análisis de los modelos de flujo de datos funcional y el modelo de objetos propuestos en el estándar ISA-95 (ISA, 2000), a través de los cuales se pueden caracterizar y especificar los ámbitos, funciones, subfunciones y los flujos de información que permiten organizar e integrar la información necesaria para realizar el proceso de trazabilidad de producto (Gómez et ál., 2012).

De esta manera, se estableció que para el proceso THA, los procesos relevantes corresponden al control, la supervisión y el seguimiento de las materias primas, recursos e insumos recibidos, así como a la definición del orden de compra de materias primas, recursos e insumos a utilizar, realizar los pedidos y compras de insumos y materiales, reportar el progreso de las compras, documentar facturas y recibir los pedidos.

Para el componente de TI se recomienda generar registros y documentar la información sobre la manera en que fue producido, manejado, almacenado, transportado, transformado y presentado el producto, en caso de existir tales procesos y siempre y cuando tales actividades puedan tener una influencia sobre la seguridad e higiene de este.

A manera de ejemplo, en la figura 1 se presenta la arquitectura de interacción de funciones, para los que se han definido los flujos de información entre los ámbitos funcionales que se afectan para soportar el proceso de TI. Estos resultados no se detallan en este artículo debido a que no son el objeto de profundización.

En la THD, cuando los productos se despachan, los registros deben servir como vínculo con el sistema de trazabilidad de los clientes. Sin un adecuado sistema de registros de los productos entregados, la trazabilidad de la cadena de producción podría quebrarse completamente. Se debe dar la información de trazabilidad del producto de la forma más clara posible que facilite al cliente relacionar la identificación y otra información del producto que se entrega con su propio sistema de registros. Y para la empresa es de vital importancia tener toda la información referente a los clientes y el transporte usado para despachar el pedido. La finalidad de este tipo de trazabilidad es poder relacionar los productos elaborados con el siguiente eslabón de la cadena. Para obtener esta información se deben documentar la información de la mercancía despachada, los datos del despachador, la información del transportista, la fecha y hora de salida, los datos del producto que se despacha, así como el tiempo estimado de transporte.

Conceptos de WorkFlow y redes de Petri de WorkFlow

Concepto de WorkFlow

Un WorkFlow es el estudio de los aspectos operacionales de una actividad de trabajo: cómo se estructuran las tareas, cómo se realizan, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan, cómo fluye la información que soporta las tareas y cómo se le hace seguimiento al cumplimiento de las tareas. La tecnología WorkFlow se encarga de guiar y controlar de forma automática a todos los componentes de un proceso: personas, tareas, documentos, normas y ordenadores, gracias a la ejecución de un *software* instalado en una red y cuyo orden de ejecución lo controla una representación automatizada del proceso (Reijers, 2002). Por consiguiente, se

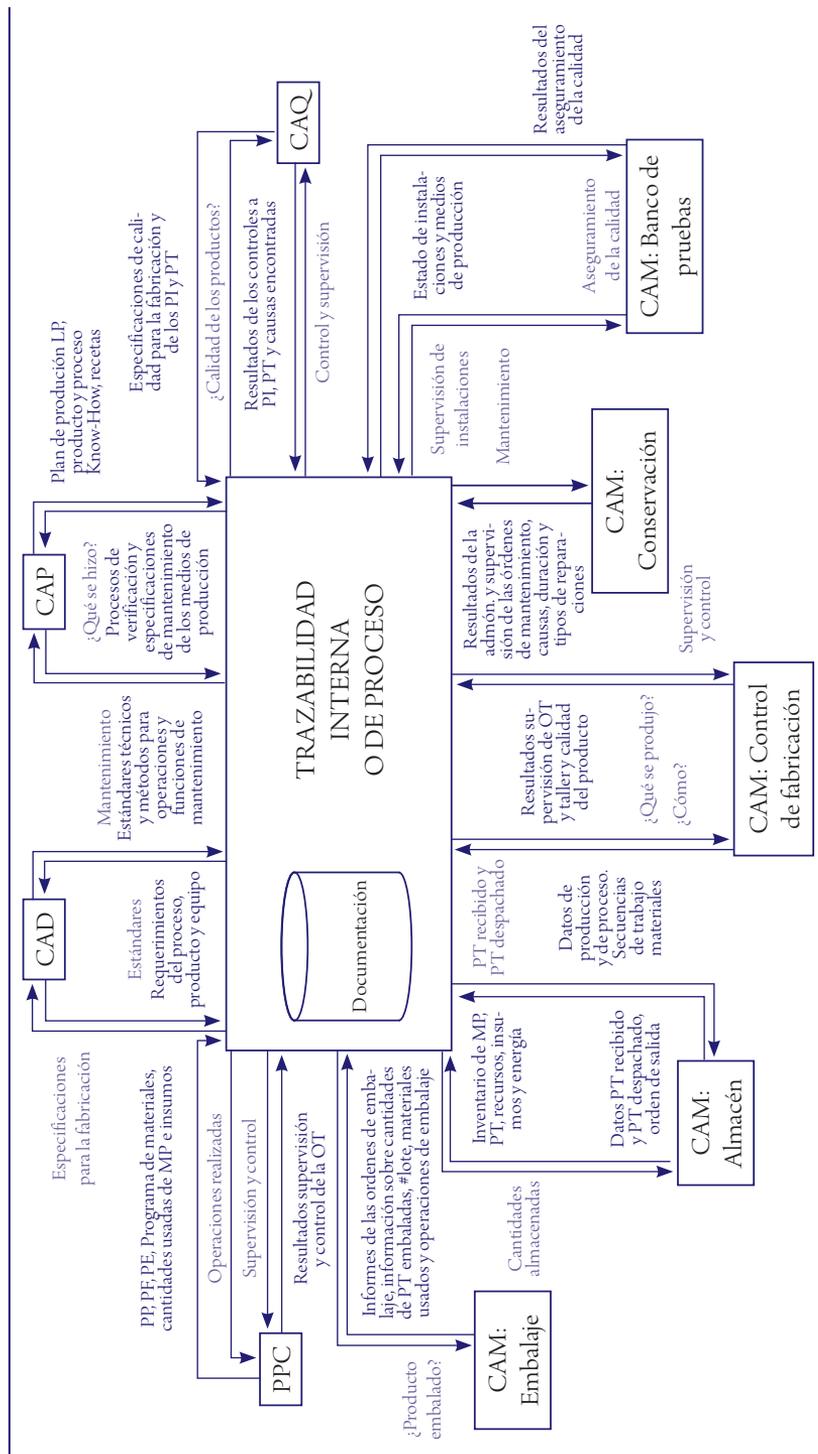


Figura 1. Relación de ámbitos funcionales para el proceso de trazabilidad interna

Fuente: elaboración propia.

puede especificar un WorkFlow como un conjunto de métodos y tecnologías que ofrece las facilidades para modelar y gestionar, los diversos procesos que ocurren dentro de una empresa.

Cuando se especifica un sistema de WorkFlow, generalmente se identifican y utilizan definiciones de los distintos elementos que se pueden encontrar dentro de dicho sistema. Entre estos se encuentran las tareas como el conjunto de acciones o actividades manejadas como una sola unidad, las personas o usuarios quienes realizan las tareas en un orden definido, los roles que definen las distintas competencias potenciales que existen en el sistema, las rutas que especifican la secuencia de pasos a seguir por los documentos o información dentro de un sistema de WorkFlow. Asimismo, las reglas de transición que corresponden a reglas lógicas para determinar la navegación del documento dentro del sistema, también los datos que corresponden a los documentos, por ejemplo, archivos, imágenes, registros de la base de datos y otros utilizados como información para llevar a cabo el trabajo. De esta manera, los eventos que son considerados interrupciones que contienen información tienen un origen y uno o más destinatarios; por tanto, los plazos o *deadlines* que corresponden a los tiempos que se le asignan a los eventos y las políticas que corresponden a la manera formal de expresar sentencias de cómo serán manejados ciertos procesos (WFMC, 1996).

Redes de Petri de WorkFlow

Una red de Petri que modela una definición del proceso del WorkFlow se llama una red de WorkFlow (WF-Net). Una WF-Net satisface dos requisitos: en primera instancia, la WF-Net tiene un lugar de entrada (*i*) que corresponde a un caso que requiere ser gestionado y un lugar de salida (*o*) correspondiente a un caso que ya ha sido gestionado (WMP, 2001). Por tanto, cada una de las transiciones *t* de la red se deben situar en una trayectoria del lugar *i* al lugar *o*. En segunda instancia, el siguiente requisito corresponde a una relación fuerte si *o* está relacionado con *i* por medio de una transición adicional *t*^{*} (transición de realimentación).

1. Definición de WF-Net: una red de Petri $PN = (P, T, F)$ es una WF-Net, si y solo si:

- (i) PN tiene dos lugares especiales: *i* y *o*. El lugar *i* es un lugar fuente: $\bullet i = \emptyset$ y el lugar *o* es un lugar de salida: $o \bullet = \emptyset$.

(ii) Si se agrega una transición t^* a PN que conecte el lugar o con i (es decir, $\bullet t^* = \{o\}$ y $t^* \bullet = \{i\}$), entonces la red de Petri resultante es fuertemente relacionada.

En las WF-Net los lugares en el conjunto P corresponden a las condiciones y las transiciones en el conjunto T corresponden a las tareas que conforman el caso del Workflow. Las marcas en una WF-Net se encargan de representar el estado del Workflow de un caso simple, en el cual el estado contiene la información de cada caso.

2. Estructuras de enrutamiento de las WF-Net (WFMC, 1996). La Workflow Management Coalition (WfMC) ha identificado y especificado las estructuras básicas de enrutamiento de Workflow, las cuales corresponden a enrutamiento secuencial, enrutamiento paralelo, enrutamiento condicional y enrutamiento iterativo.

El enrutamiento secuencial se utiliza para modelar sucesiones entre las tareas, conformando estructuras lineales como se muestra en la figura 2.

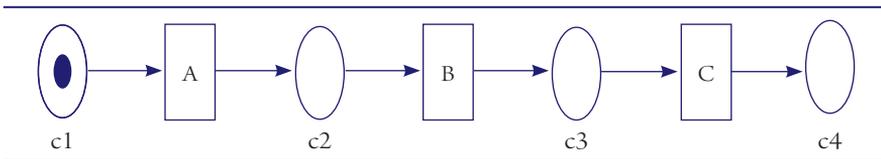


Figura 2. Enrutamiento secuencial

Fuente: elaboración propia.

El enrutamiento paralelo se utiliza en situaciones donde el orden de ejecución es menos estricto, en las cuales dos tareas deben ser ejecutadas pero la secuencia de la ejecución es arbitraria. Para modelar un enrutamiento paralelo se utilizan dos bloques de construcción: AND-split y el AND-join. En la figura 3 se muestra que ambos bloques de construcción pueden ser modelados como transiciones ordinarias.

El enrutamiento condicional se utiliza para permitir un enrutamiento que pueda variar entre los casos, el cual puede depender de los atributos del Workflow, así como del comportamiento y del estado de las unidades de producción. Para modelar estos sistemas excluyentes se utilizan los bloques de construcción OR-split y el OR-join, en los cuales un bloque OR-split puede ser modelado por un lugar con arcos de salida múltiples y un bloque OR-join es modelado por un lugar con múltiples arcos de entrada, tal como se muestra en la figura 4.

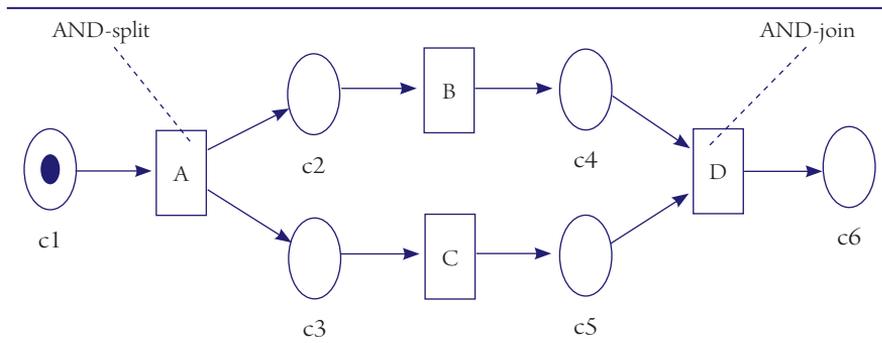


Figura 3. Enrutamiento paralelo

Fuente: elaboración propia.

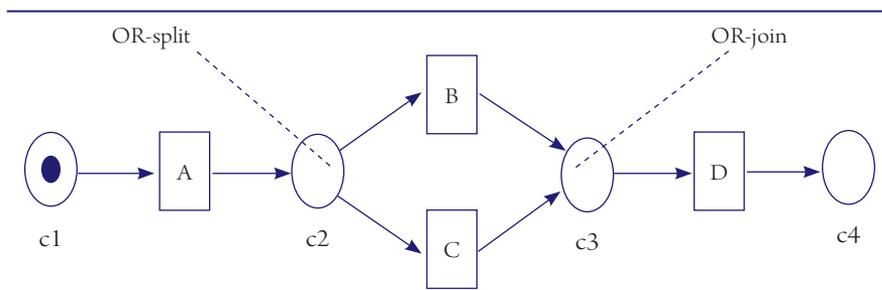


Figura 4. Enrutamiento condicional

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, usualmente la opción de selección entre las tareas excluyentes depende de los atributos del Workflow, siendo posible una segunda alternativa para un enrutamiento condicional. En la figura 4, la selección de las tareas B o C se realiza en el momento en que una de ellas se ejecuta, mientras que en la figura 5, la selección de la ruta se realiza en el momento exacto en el cual la tarea A se concluye.

La WFMC ha desarrollado una notación para cada una de las estructuras de enrutamiento explicadas anteriormente, las cuales son mostradas en la figura 6.

Por su parte, el enrutamiento iterativo corresponde a la ejecución repetida de la misma tarea, por lo que se consigue modelar usando el bloque de construcción de una OR-split explícita como se muestra en la figura 7.

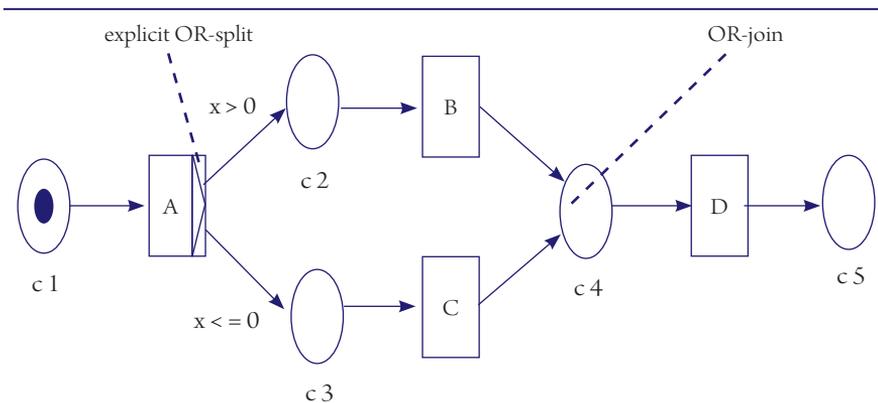


Figura 5. Enrutamiento condicional explícito

Fuente: elaboración propia.

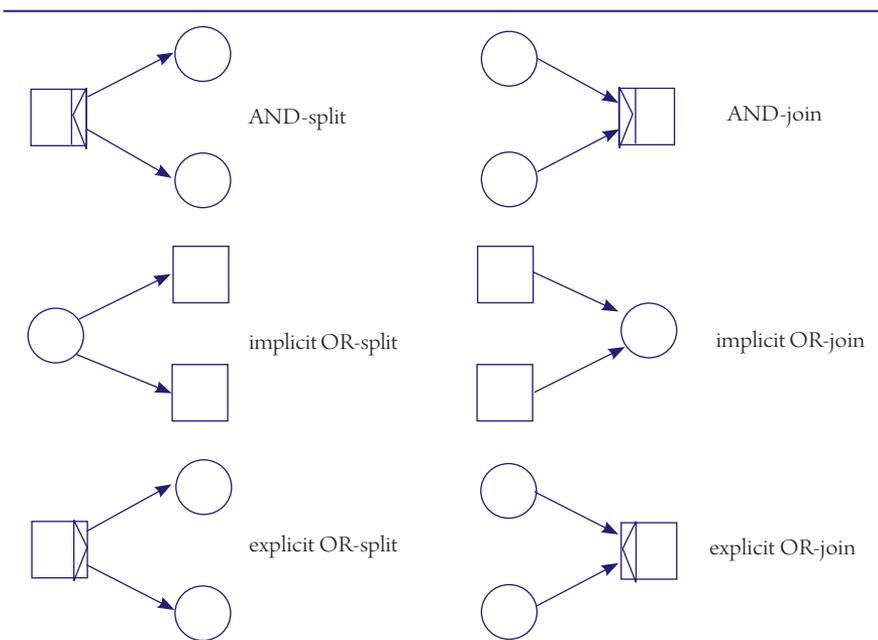


Figura 6. Bloques de construcción para Workflow

Fuente: elaboración propia.

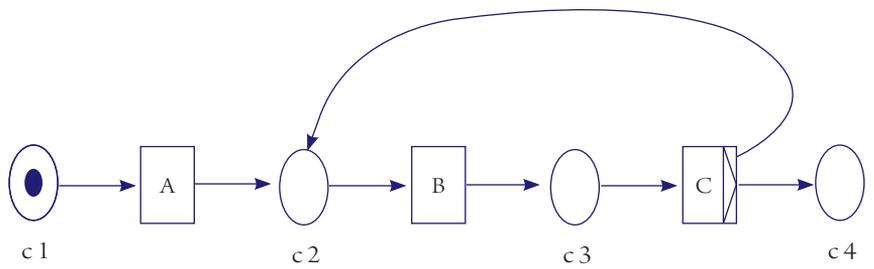


Figura 7. Enrutamiento iterativo

Fuente: elaboración propia.

3. Disparadores. Un disparador se define como una condición externa que conduce a la ejecución de una tarea habilitada. Para las WF-Net se han definido cuatro tipos de disparadores, los cuales se denominan: automático, de usuario, de mensaje y de tiempo.

En un disparador automático, una tarea se ejecuta en el mismo momento en que se habilita. En un disparador de usuario, una tarea se inicia por la intervención de un usuario que selecciona una instancia de una tarea habilitada para ser ejecutada. En un disparador de mensaje un evento externo determinado por un mensaje ejecuta una instancia de una tarea habilitada. En un disparador de tiempo una instancia de una tarea habilitada es accionado por el vencimiento de un intervalo de tiempo, es decir, la tarea se ejecuta en un momento predefinido.

De igual manera, la WFMC ha desarrollado una notación para realizar la definición del proceso del Workflow, por lo que se utilizan los símbolos mostrados en la figura 8, para denotar el tipo de disparador requerido.

Modelado del proceso de trazabilidad con redes de Petri de Workflow

Para la obtención del modelo dinámico del proceso de trazabilidad se procedió a especificar los flujogramas detallados de todos los procedimientos orientados a trazabilidad de producto, posteriormente se realizó la definición de los registros de información de trazabilidad, con base en ellos se procedió a definir los Workflow de cada componente de trazabilidad y posteriormente se realizó la formalización

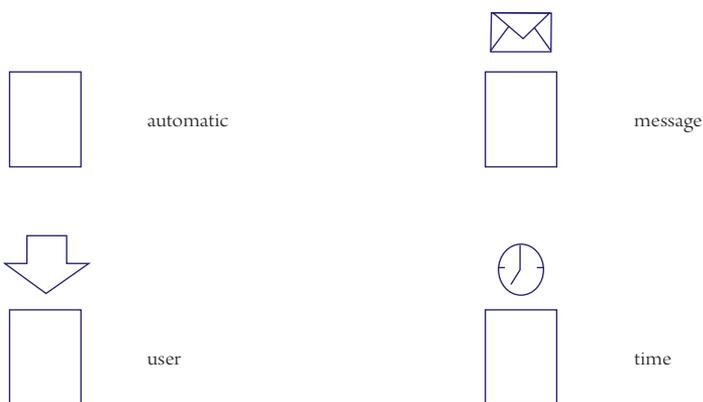


Figura 8. Tipos de disparadores

Fuente: elaboración propia.

del modelo mediante las redes de Petri de WorkFlow. A continuación se explica en detalle cada una de estas fases con los resultados correspondientes.

Flujogramas de trazabilidad de producto

Como primera medida se realizó la caracterización del proceso de trazabilidad que se debe realizar en las empresas del sector industrial nacional, partiendo desde la definición de la orden de compra, hasta la entrega del pedido al cliente. Esta fase se realizó tomando como referencia las funciones especificadas por los ámbitos del modelo Siemens y los conceptos y modelos propuestos por el estándar ISA-95.

De esta manera, se consiguió realizar el seguimiento del proceso de trazabilidad de producto, para permitir la definición de los registros a generar dentro de los procedimientos realizados que permitirían documentar toda la información requerida para realizar los tres tipos de trazabilidad.

Los flujogramas obtenidos presentan una descripción detallada de todas las actividades a realizar durante el ciclo de vida del producto y define una estructura donde se generan flujogramas internos que especifican otras tareas a realizar dentro de los flujogramas principales. También se han definido flujogramas de procesos que se ejecutan en la empresa de modo paralelo a todos los procesos de recepción, almacén, producción, embalaje y comercialización, como lo son los procesos de control

y supervisión de los medios de producción, los cuales no se pueden secuenciar dentro de los flujogramas generales pero definen información importante acerca de los medios de producción.

A modo de ejemplo, en la figura 9 se presenta un componente parcial del flujograma de trazabilidad interna desarrollado en el proyecto. En este se especifican todas las tareas que se realizan antes de generar el programa de producción y embalaje, las actividades realizadas durante la producción y el embalaje, hasta llegar al producto terminado y posterior almacenamiento. A partir de este flujograma se define en qué puntos se recomienda generar registros y documentar la información referente a la manera en que fue producido, manejado, almacenado, transportado, transformado y presentado el producto, en caso de existir tales procesos y siempre y cuando tales actividades puedan tener una influencia sobre la seguridad e higiene de este, toda esta información es necesaria para la realización de la TI, por lo que en el flujograma se especifican todas las actividades que se deben realizar para lograr la obtención de esta.

Para el cumplimiento de este objetivo es necesario planificar las cantidades de materias primas, recursos e insumos que se necesitan para la producción; planificar los equipos respecto su disponibilidad y estado; solicitar las materias primas, recursos, mano de obra e insumos; lanzar las órdenes de producción; realizar el seguimiento de las órdenes de trabajo, y generar registros de información referente a los posibles problemas encontrados durante la producción, en los medios de producción, materiales y productos, entre otros, así como la información de productos intermedios y terminados. De igual manera, es necesario realizar pruebas de calidad del producto y documentar los resultados obtenidos de las pruebas, la cantidad y el manejo de producto no conforme. Todas estas actividades son abordadas en el flujograma completo de trazabilidad interna presentado en Gómez et ál. (2012) (figura 9).

Definición de registros de información

A partir de la definición de los flujogramas y las funciones correspondientes a cada componente del proceso de trazabilidad, y con base en el tipo de información que debe ser registrada, se procedió a plantear una serie de registros que permiten formalizar el proceso de recolección de la información en cada una de las fases del ciclo de vida del producto.

Tabla 1. Registros para trazabilidad hacia atrás

NOMBRE DEL REGISTRO	DESCRIPCIÓN DEL REGISTRO	ENCARGADO
RCAQ-01	Informe con las características y condiciones de calidad que debe cumplir la mercancía.	CAQ
RCAP-01	Informe con los requerimientos para la orden de compra de mercancía a LP.	CAP
RVe-01	Informe de pedidos de clientes extraordinarios.	Ventas
RAI-01	Informe de inventarios de MP, PT, recursos, insumos y energía.	Almacén
RCF-01	Informe de la oferta y ocupación de capacidad.	CF
RPPC-01	Informe con los requerimientos para la orden de compra de mercancía a CP.	PPC
RVe-02	Informe de pedidos de clientes ordinarios.	Ventas
RCo-01	Informe del pedido de compra de mercancía realizado.	Compras
RCo-02	Informe de seguimiento del pedido realizado.	Compras
REM-01	Informe de recepción de mercancía.	EM
REM-02	Justificante de entrada.	EM
REM-03	Albarán de devolución.	EM
RCF-02	Informe de mercancía entrante al taller.	CF
RAI-02	Informe de mercancía recibida y almacenada.	Almacén

Fuente: elaboración propia.

Estos registros pueden ser manuales o ser el resultado de la consolidación de la información existente en los componentes *software* para almacenamiento de datos y soporte de toma de decisiones de la empresa. Además, cada ámbito o departamento de la organización tiene bajo su responsabilidad la validación de sus contenidos.

En la tabla 1 se presenta, como ejemplo, la lista de los registros y su ámbito o departamento responsable para el componente de trazabilidad hacia atrás.

Definición de WorkFlow de trazabilidad

Con la información caracterizada y consolidada, se procede a especificar los WorkFlow de cada componente del proceso de trazabilidad del producto. Cada uno de ellos contiene la especificidad de las actividades para evaluar y comparar

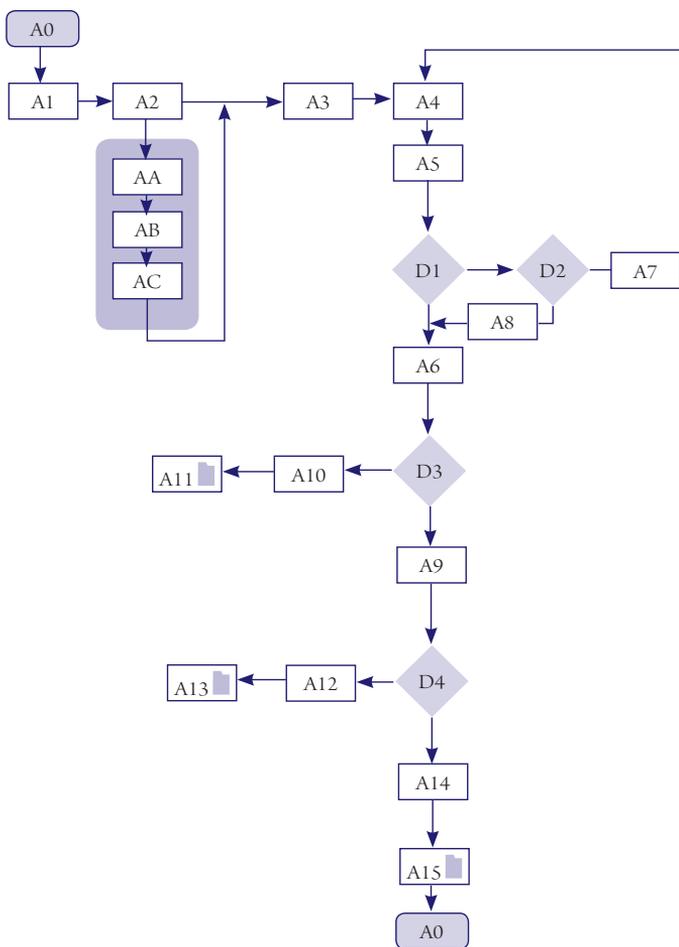


Figura 10. WorkFlow de trazabilidad hacia atrás

Fuente: elaboración propia.

los resultados obtenidos de todas las actividades registradas en los flujogramas del proceso de trazabilidad y validar la información consignada en los registros de trazabilidad. En la figura 10 se presenta el flujo de trabajo establecido para trazabilidad hacia atrás.

- Actividad 0: inicio del proceso
- Actividad 1: revisar el informe con las características y condiciones de calidad que debe cumplir la mercancía (RCAQ-01)

- Actividad 2: revisar el informe con los requerimientos para la orden de compra de mercancía a LP (RCAP-01).
- Actividad AA: revisar informe con los requerimientos para la orden de compra de mercancía a LP (RCAP-01).
- Actividad AB: informe de pedidos de clientes extraordinarios (RVE-01).
- Actividad AC: informe de inventarios de MP, PT, recursos, insumos y energía (RAI-01).
- Actividad 3: revisar informe con los requerimientos para la orden de compra de mercancía a CP (RPPC-01).
- Actividad 4: revisar el informe con el pedido de compra de mercancía realizado (RCo-01).
- Actividad 5: revisar informe de seguimiento del pedido realizado (RCo-02).
 - Decisión 1: se presentaron inconvenientes durante en los plazos de entrega.
 - D1: no se presentaron inconvenientes en los plazos de entrega.
- Actividad 6: revisar informe de recepción de mercancía (REM-01).
 - D1: si se presentan inconvenientes en los plazos de entrega.
 - Decisión 2: ¿qué acciones se tomaron?
 - D2: si se hizo un nuevo pedido.
- Actividad 7: se realiza las actividades 4 y 5.
 - D2: se espera el pedido.
- Actividad 8: ir a la actividad 6 (REM-01).
 - Decisión 3: El pedido cumplió las condiciones de entrada.
 - D3: si se cumplieron las condiciones.

- Actividad 9: revisar justificante de entrada de mercancías (condiciones de recepción del pedido) (REM-02).
 - D3: Si no se cumplieron las condiciones de entrada.
- Actividad 10: revisar albarán de devolución (REM-03).
- Actividad 11: generar un informe dentro del procedimiento de trazabilidad.
 - Decisión 4: ¿qué se hizo con la mercancía recibida?
 - D4: no se envió al almacén (destino del pedido).
- Actividad 12: revisar informe de mercancía entrante al taller (RCF-02).
 - D4: si se envió al almacén.
- Actividad 13: revisar el informe de mercancía recibida y almacenada (RAI-02).
- Actividad 0: fin del proceso.

Modelado del proceso de trazabilidad con WF-Net

Finalmente, se modelaron cada uno de los componentes de trazabilidad con redes de Petri de Workflow, estas representaciones modelan, gestionan y estructuran las tareas de revisión de registros y generación de informes de trazabilidad como se realizan, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan y cómo fluye la información para lograr el cumplimiento del proceso de trazabilidad. Por medio de los Workflows-Nets se genera una representación formal de todo el proceso definido para la realización de trazabilidad y facilita la comprensión de este.

A continuación se presentan los resultados de la aplicación de WF-Net para obtener el modelo dinámico de cada uno de los componentes del proceso de trazabilidad de producto con base en los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

En la figura 11 se presenta el modelo en WF-Net para el componente de trazabilidad hacia atrás en el proceso de trazabilidad del producto. En esta se detallan las tareas que se deben realizar, las que se deben hacer en cada una; luego, por medio

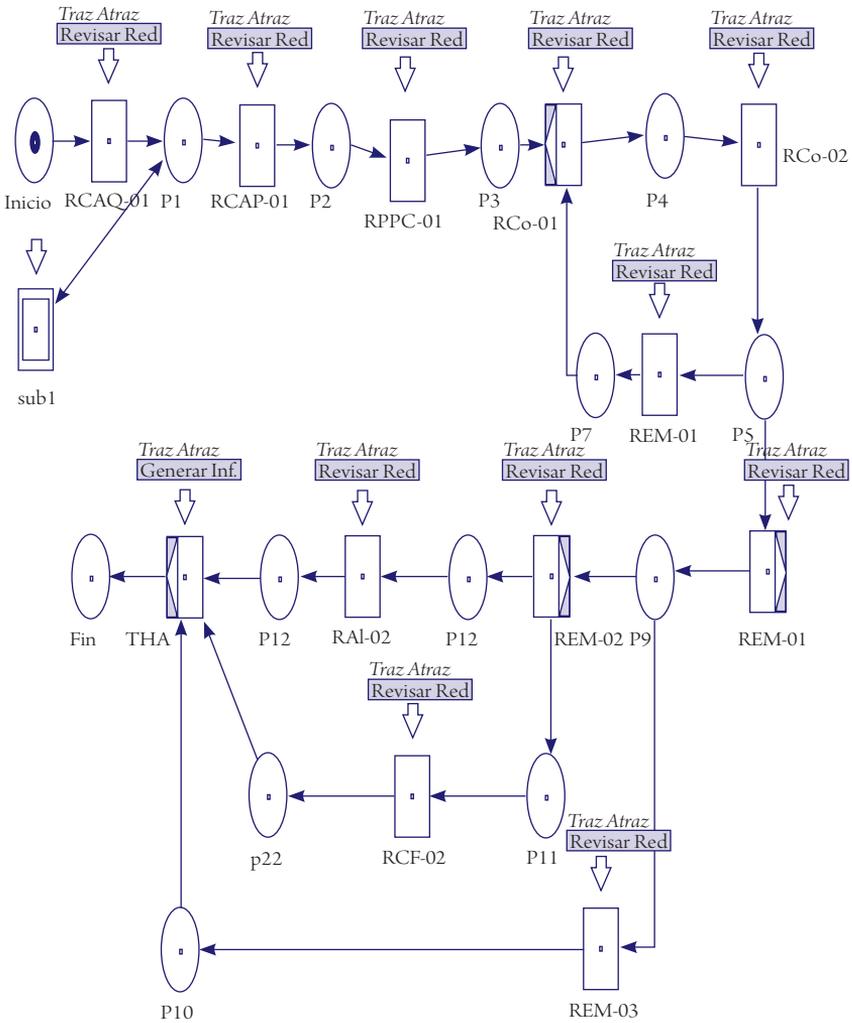


Figura 11. Modelo en WF-Net para trazabilidad hacia atrás

Fuente: elaboración propia.

de los disparadores se logra definir cómo se debe realizar y quién es el encargado de la realización de esta. El modelo también permite estructurar y definir un orden correlativo entre las tareas permitiendo la revisión y generación de informes de trazabilidad hacia atrás.

En la figura 12 se presenta el modelo en WF-Net para el componente de trazabilidad interna en el proceso de trazabilidad de producto.

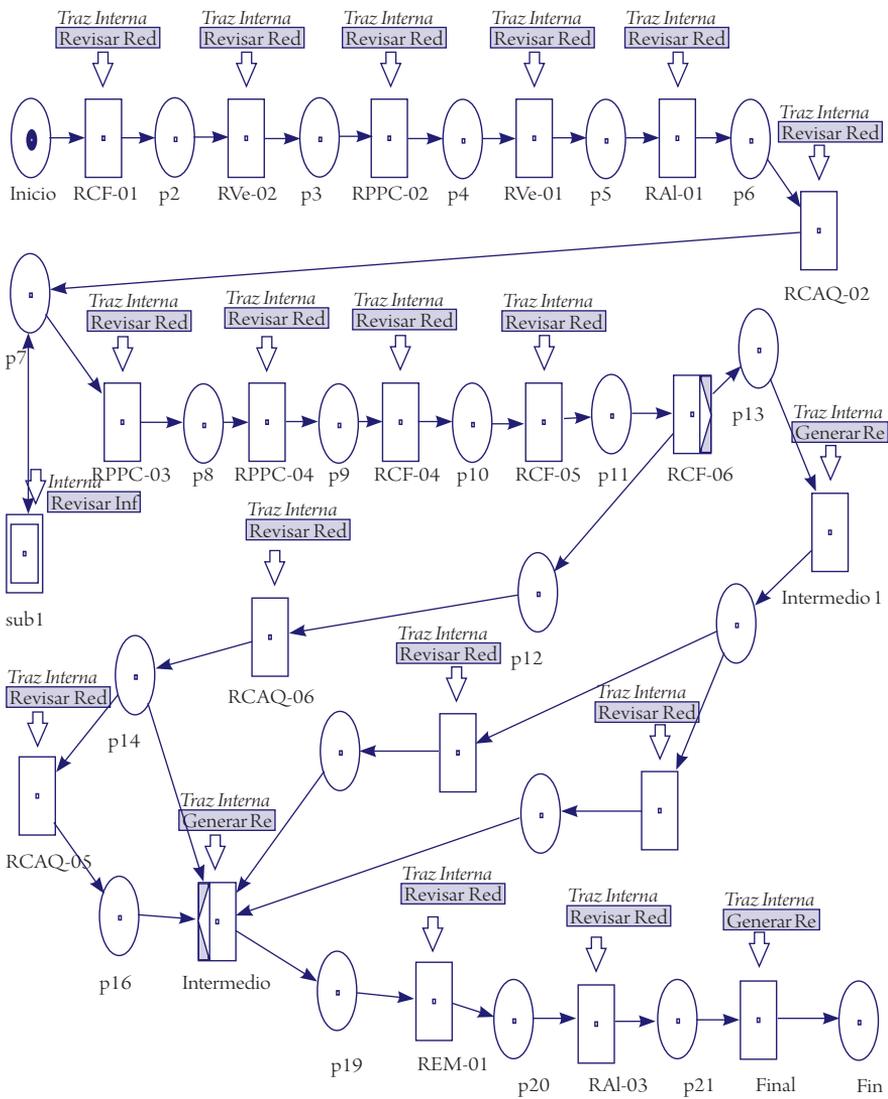


Figura 12. Modelo en WF-Net para trazabilidad interna

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se presenta el modelo en WF-Net para el componente de trazabilidad hacia adelante en el proceso de trazabilidad de producto.

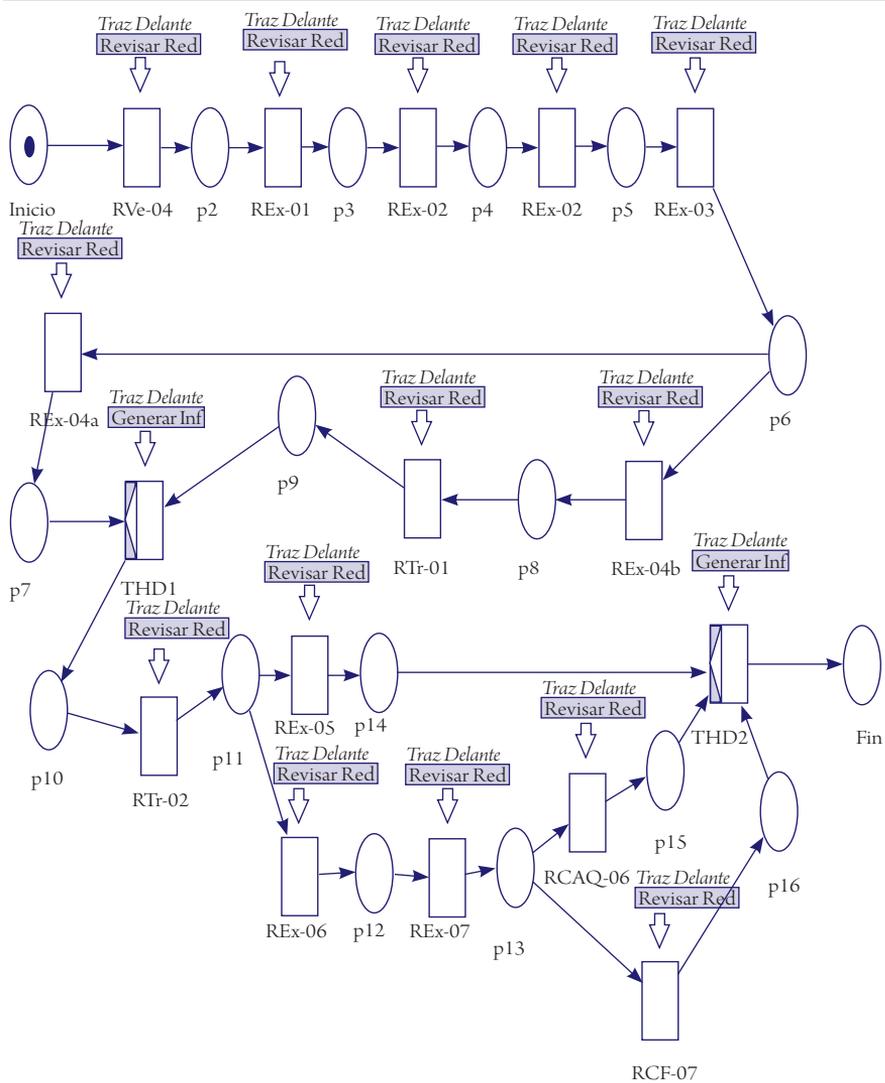


Figura 13. Modelo en WF-Net para trazabilidad hacia delante

Fuente: elaboración propia.

Aplicación del método de trazabilidad de producto

Para validar y aplicar el método para trazabilidad de producto explicado anteriormente se procedió a la identificación de las funciones, la especificación de los flujos de información y la aplicación de las fases definidas en los flujos de trabajos

para la THA, TI y THD, tomándose como caso de estudio la línea de producción de cerveza rubia presentación en botellas de vidrio no retornable de 330 ml de la empresa microcervecera “Ciudad Blanca” de la ciudad de Popayán en el departamento del Cauca (Colombia).

Al principio se procedió a desarrollar la aplicación de los modelos definidos por los estándares ISA-88 e ISA-95, y se establecieron los registros de información en la cadena de valor del proceso de producción de cerveza rubia en la presentación en botellas de vidrio no retornable de 330 ml, para continuar con la aplicación del WorkFlow correspondiente a la THA, cuyos resultados se presentan a continuación.

1. Comparar los datos del Registro RCAQ-01 (características y condiciones de calidad que debe cumplir la mercancía) con los datos obtenidos en el Modelo Objeto de Materiales (ISA-95) en el ítem de tolerancias, los cuales se presentan en las tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2. Parte del modelo de materiales de ISA-95

ID	MLTP			
Nombre	Malta Pilsen			
Descripción	La malta es un cereal germinado que posteriormente se lo seca en un horno que proporciona los azúcares, proteínas, aminoácidos necesarios para que las levaduras fermenten la bebida, dando cuerpo, sabor y espuma a la elaboración de cerveza.			
Clase de material asociada	Maltas	ID	MLT	
Procesos realizados	Molido			
Tolerancias				
PROPIEDAD	MIN.	MAX.	ESTÁNDAR	UNIDAD DE MEDIDA
Color	3,5 1,8	4,5 2,2		*EBC *°L
Humedad			2,4	%
Grado de disolución de proteínas	39	47		%

Fuente: elaboración propia.

Si se presenta algún tipo de inconsistencia en los valores señalados se debe generar un informe de trazabilidad. En el ejemplo presentado se evidencia una inconsistencia en el valor del color de la materia prima mosto, por lo cual se crea el informe de trazabilidad de la tabla 4.

Tabla 3. RCAQ-01 microcervecera Ciudad Blanca

RCAQ-01 INFORME CON LAS CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE CALIDAD QUE DEBE CUMPLIR LA MERCANCÍA. GARANTÍA DE CALIDAD ASIS- TIDA POR COMPUTADOR				FECHA		
				18	04	2012
Insumos	Tolerancias					
	Color	Humedad	Grado de disolución	Presentación		
Malta Pilsen	2,0	2,4	40	Granos		
Mosto	Temperatura	Inspección organoléptica		Presentación		
	95	Aprobada		Líquida		
Levadura	Proteínas	Potasio	Fosfato	Presentación		
	17	21	34	20 g		
Observaciones						
Firma						

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Informe de trazabilidad

INFORME DE TRAZABILIDAD				FECHA		
N° 0021				18	04	2012
Especificación. La materia prima Mosto presenta un valor de tolerancia COLOR por fuera del rango permitido						
Generado por	Carlos Cardona					
Cod. Registro	RCAQ-01	Operación	Revisión de calidad del proceso			
Observaciones						
Firma						

Fuente: elaboración propia.

2. Revisar los datos del registro RCAP-01 (requerimientos para la orden de compra LP), los datos del registro RVe-01 (Informe de pedidos de clientes extraordinarios) y los del registro RAI-01 (informe de inventarios de MP, PT, recursos, insumos y energía).
3. Revisar los datos del registro RPPC-01 (requerimientos para la orden de compra de mercancía a CP), los datos del registro RVe-02 (informe de pedidos de clientes ordinarios).

4. Comparar los datos del registro RCo-01 (informe con el pedido de compra de mercancía realizado) con los datos del registro RCo-02 (informe seguimiento del pedido realizado). Si se presenta algún tipo de inconsistencia.
5. En los valores señalados se debe generar un informe de trazabilidad.
6. Comparar los datos del registro REM-01 (informe de recepción de mercancía) que se presenta en la tabla 5 con los datos del modelo físico (ISA-88) y con los datos del Registro RPPC-01 (informe con el pedido de compra de mercancía realizado).

Tabla 5. REM-01 microcervecera “Ciudad Blanca”

REM-01 INFORME DE RECEPCIÓN DE MERCANCÍA. ENTRADA DE MERCANCÍAS.					FECHA		
					30	04	2012
PRODUCTO	CANTIDAD	LOTE PRODUCTO	NOMBRE DE EMPRESA PROVEEDORA	FECHA DE RECEPCIÓN.	ENCARGADO DE RECEPCIÓN		
Malta Pilsen	25 kg	112511AB-01	Insumos cerveceros	30/04/2012	01		
Lúpulo	500 g	78-080311C	Levapan	30/04/2012	01		
Levadura	150 g	8889895-010211	Lúpulo Colombia	30/04/2012	01		
Dióxido de carbono	2 kg	CE-0147555-01	Quimpos	30/04/2012	01		
Agua			Acueducto de Popayán		02		
Etiquetas	1000	301211ET88	Esselpro pack	30/04/2012	02		
Botellas	1000	081111BT09	Esselpro pack	30/04/2012	02		
Tapas	1000	070512TP77	Esselpro pack	30/04/2012	02		

Encargado de recepción

ID	Nombre	Cargo	Turno
01	Carlos Cardona	Operario	Mañana
02	Alex Rengifo	Operario	Tarde

Sitio de Entrega

Barrio Cadillal (Popayán)	Producción de cerveza	Línea de producción de cerveza Rubia
---------------------------	-----------------------	--------------------------------------

* MP: materia prima, IN: insumos de embalaje y empaquetado, RE: recurso energético consumible

Observaciones

Firma	
-------	--

Fuente: elaboración propia

7. Revisar los datos del registro RCF-02 (informe de mercancía entrante al taller).
8. Comparar los datos del registro RAI-02 (informe de mercancía recibida y almacenada) presentados en la tabla 6 con los datos del registro REM-02 (informe seguimiento del pedido realizado).

Tabla 6. REM-02 Microcervecera “Ciudad Blanca”

REM-02 JUSTIFICANTE DE ENTRADA. ENTRADA DE MERCANCÍAS.		FECHA		
		30	04	12
PRODUCTO	LOTE PRODUCTO	NOMBRE EMPRESA PROVEEDORA	FECHA DE ENTREGA	ENCARGADO DE RECEPCIÓN
Malta Pilsen	112511AB-01	Insumos Cerveceros	30/04/2012	01
Lúpulo	78-080311C	Levapan	30/04/2012	01
Levadura	8889895-010211	Lúpulo Colombia	30/04/2012	01
Dióxido de carbono	CE-0147555-01	Quimpos	30/04/2012	01
Tapas	301211ET88	Esselpro pack	30/04/2012	02
Etiquetas	081111BT09	Esselpro pack	30/04/2012	02
Botellas	070512TP77	Esselpro pack	30/04/2012	02

Encargado de recepción

ID	Nombre	Cargo	Turno
01	Carlos Cardona	Bodegista	Mañana
02	Alex Rengifo	Bodegista	Tarde

* MP: materia prima, IN: insumos de embalaje y empaquetado, RE: recurso energético consumible

Observaciones

Firma	
-------	--

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El artículo ha presentado la aplicación de las redes WF-Net en el modelado del proceso de trazabilidad de producto, lo cual ha permitido obtener los modelos de comportamiento de los componentes de THA, TI y THD, que permiten ges-

tionar las actividades para la realización de trazabilidad, el control absoluto de los productos, mejora en la gestión de costos y la seguridad sobre la calidad ofrecida en los productos finales.

Los modelos obtenidos para el proceso de trazabilidad del producto relacionan el detalle de la información de todos los controles pasados por cada fase del producto, para que en caso de errores se pueda encontrar el punto exacto donde se han producido e identificar los lotes defectuosos. Además, los modelos obtenidos permiten localizar al cliente y ofrecer garantía en el caso específico en el que el producto comercializado se encuentre defectuoso. De igual manera, poder proceder a retirar el resto del lote defectuoso.

El estudio y el planteamiento de los modelos de comportamiento dinámicos con redes de Petri de WorkFlow WF-Net generan una herramienta que posibilita el desarrollo de proyectos de automatización, contemplando una visión global de la organización y sirviendo de soporte para la empresa con el propósito de ayudar a asegurar las próximas etapas en la automatización. Esto debido a que permiten exteriorizar el conocimiento de los procesos de negocio que deben ser controlados y coordinados, así como definir las variantes que deben ser manejadas, y que logren especificar el flujo eficiente de la información que se genera en la empresa.

El artículo permite observar cómo las WF-Net son una herramienta muy útil en el modelado de los procesos de negocio, debido a que soportan una representación gráfica que facilita la comprensión del sistema modelado en la información que contienen sus estructuras de enrutamiento y sus disparadores, que simultáneamente posibilitan un análisis formal en el establecimiento, verificación y validación del modelo a través de la aplicación del método de trazabilidad de producto.

La definición de un método para realizar trazabilidad permite a pequeñas empresas productoras que no cuentan con la capacidad económica para adquirir e implementar herramientas *software*, poner en funcionamiento procedimientos que permitan el mejoramiento y el aseguramiento de la calidad de sus productos y procesos, sin necesidad de hacer grandes inversiones de dinero, recursos, capacitación y contratación de servicios, entre otros.

Referencias

- Asociación de Fabricantes y distribuidores (AECOC) (2008). Definiciones de trazabilidad. En *Reporte Técnico AECOC*. Comité de trazabilidad alimentaria. Asociación Española de Codificación Comercial. Logística Inversa Trazabilidad. Página 5.
- Asociación de Industrias Agroalimentarias (AIA), (2006). Guía básica de gestión de trazabilidad en el sector alimentario de Navarra, Subsector Industrias de Elaboración de Bebidas. En *Reporte Técnico Gobierno de Navarra* (6ª. ed.). Navarra: Asociación de Industrias Agroalimentarias. Servicio de Seguridad Alimentaria de CONSEBRO. Depósito legal NA 3298/2006.
- Chacón, E.; Besembel, I.; Narciso, F.; Montilva, J. y Colina, E. (2002). An integration architecture for the automation of continous production complexes. *ISA Transactions* 41, 95-113.
- Chacón, E.; Cardillo, J.; Chacón, R.; Gutiérrez, D. y Rojas, O. (2008). Metodología para la automatización integrada de procesos de producción basada en el enfoque holónico. *Memorias del XIII Latin American Congress on Automation Control*. Mérida, Venezuela.
- Gómez, A.; Tumbajoy, L.; Velasco, J. y Rojas, O. (2012). Formulación de un método para realizar trazabilidad de productos basado en los estándares ISA-88 e ISA-95. *Artículo en Revisión, 16º Congreso Internacional de Instrumentación, Sistemas y Automatización*. Sao Paulo, Brasil.
- Gómez, D. y Manquillo, C. (2007). Adecuación del Modelo Siemens a las Normas ISA S88 e ISA S95 con aplicación ilustrativa a caso de estudio. Popayán: Ingeniería en Automática Industrial - Universidad del Cauca.
- ISA (2000). *Enterprise - Control System Integration Part 1: Models and Terminology. Standard ISA-95.01*. International Society Automation.
- ISA (2006). *Enterprise-Control System Integration Part 3: Activity Models Manufacturing Operations Management. Standard ISA-95.03*. International Society Automation.
- Reijers, H. (2002). *Design and control of WorkFlow processes. Business process management for the service industry*. Eindhoven: CIP-DATA Library Technische Universiteit.
- Vernadat, F.B. (2002). Enterprise modeling and integration (EMI): current status and research perspectives. *Annual Reviews in Control*, 26, 15-25.
- WMP, van der Aalst (2001). *The Application of Petri Nets to WorkFlow Management. Eindhoven*. Eindhoven, Holanda: Eindhoven University of Technology.
- WorkFlow Management Coalition (WfMC) (1996). Terminology and Glossary. Technical report. WorkFlow Management Coalition. *Document Number WfMC-TC-1011*. Winchester: United Kingdom.