

**DEFINICIÓN DE UN MÉTODO PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA  
PRODUCCIÓN DESDE EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS HOLÓNICOS  
(HMS)**

**ANEXOS**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingenieros  
en Automática Industrial**

**Diego Armando Burbano Quigua**

**John Darwin López Burgos**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

**INGENIERIA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL**

**POPAYÁN - CAUCA**

**2014**

**DEFINICIÓN DE UN MÉTODO PARA LA PROGRAMACIÓN DE LA  
PRODUCCIÓN DESDE EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS HOLÓNICOS  
(HMS)**

**ANEXOS**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingenieros  
en Automática Industrial**

**Diego Armando Burbano Quigua**

**John Darwin López Burgos**

**Director: PhD(C). Óscar Amaury Rojas A.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

**INGENIERIA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL**

**POPAYÁN - CAUCA**

**2014**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ANEXO A</b> - Flujo de información involucrados en la programación de la producción.....	5
<b>ANEXO B</b> - Paralelo entre los sistemas holónicos de manufactura y los sistemas multi- agentes .....	9
<b>ANEXO C</b> – Técnicas de modelado empresarial .....	13
1. IDEF0 ( <i>Integration DEFinition Zero</i> ).....	13
2. UML ( <i>Unified Modeling Language</i> ) .....	15
2.1 Diagrama de clases .....	15
2.2 Diagrama de secuencia .....	17
3. WF-Net ( <i>WorkFlow-Net</i> ).....	18
<b>ANEXO D</b> – Caso de estudio: Proceso de elaboración de embutidos.....	21
1. Información general del proceso .....	21
2. Descripción del proceso productivo .....	22
3. Etapa de aplicación de modelos ISA .....	23

## LISTA DE FIGURAS



Figura 1: Esquema básico IDEF0.....	13
Figura 2: Jerarquía en IDEF0. ....	14
Figura 3: Icono clase, Diagrama de clases UML.....	15
Figura 4: Asociacion-Multiplicidad, Diagrama de clases UML.....	16
Figura 5: Agregación / Composición, Diagrama de clases UML.....	16
Figura 6: Herencia, Diagrama de clases UML. ....	17
Figura 7: Diagrama de secuencia UML.....	18
Figura 8: Bloques de construcción de WF-Net. ....	19
Figura 9: Tipos de Trigeering.....	20
Figura 10: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de embutidos. ....	22
Figura 11: Regla de producción de salchichas Frankfurter. ....	24
Figura 12: Regla de producción de Salami.....	25
Figura 13: Regla de producción de Salchichas frescas de cerdo.....	26





## LISTA DE TABLAS





Tabla 1: Flujo de información involucrados en la programación de la producción. ....	8
Tabla 2: Paralelo entre los sistemas holónicos de manufactura (HMS) y los sistemas multi-agentes (MAS).....	12
Tabla 3: Recursos del sistema de manufactura de embutidos de caso de estudio.....	27





## ANEXO A - Flujo de información involucrados en la programación de la producción

En la Tabla 1 se identifican los principales flujos de información presentes en el *Modelo de Flujo de Datos Funcional* [1] que están asociados directamente con la función de la programación de la producción. El flujo de trabajo básico que se desarrolla en la función, inicia con la recepción de una orden de producción (*Production Order*) previamente confirmada por el nivel 4 en base a la información respectiva a capacidad de producción (*Availability*). A continuación se realiza la asignación de recursos, para ello se tiene en cuenta la capacidad y disponibilidad actual de recursos (*Production Capability*), así como también el inventario de productos terminados (*Finished Goods Inventory*). La asignación de recursos concluye en un programa de producción (*Schedule*) que se ejecutará para cumplir con los pedidos de cliente, y a su vez en información referente a requerimientos a largo plazo tanto de materia prima como de uso de energía en planta (*Long-term material and energy requirements*). Aunque no se encuentra explícito en el modelo, la tarea de asignación de recursos puede también tomar en cuenta información referente a costos de producción (*Production Cost Objectives*), disponibilidad de equipos en base a programas de mantenimiento (*Maintenance Responses*) y aspectos relacionados con calidad de materias primas, procesos y productos (*QA Results*).

Funciones			Categorías Interactuantes	Flujos de información
Order Processing (1.0)	Production Scheduling (2.0)		Nivel 4 de Logística & Planificación de Negocios - Administración de operaciones de producción	Este flujo de información representa la primera fase en la ejecución de la función de programación de la producción, debido a que interconecta los pedidos de los clientes con órdenes de producción presentes en el nivel 3. También es importante para el nivel 4 de logística y negocios, debido a que es un soporte en la toma de decisiones referente a confirmación de pedidos de clientes.
				Los flujos de información entre las funciones son: <b>Production order:</b> Información sobre pedidos aceptados de los clientes que definen el trabajo a desarrollar en la planta. <b>Availability:</b> Información sobre la capacidad de la planta para cumplir con una orden.

Production Scheduling (2.0)	Production Control (3.0)		Administración de operaciones de producción internamente	Entre estas dos funciones se presenta un flujo estrechamente relacionado con el programa de producción, se gestiona la toma de decisiones referente a órdenes de trabajo basándose en las capacidades actuales de las instalaciones.
				Los flujos de información detallados entre las funciones son: <b>Schedule:</b> Este contiene la información, referente a la producción, acerca de que producto se fabricará, cuánto y cuando ha de hacerse. <b>Production from plan:</b> Contiene información sobre los resultados de producción actuales y completos provenientes de la ejecución del plan. Contiene lo que se hizo, cuánto se hizo, cómo se hizo, y cuando se hizo. <b>Production capability:</b> Define la capacidad actual comprometida, disponible, e inalcanzable de la planta de producción. Incluye materiales, equipos, mano de obra y energía.
Production Scheduling (2.0) - Production Control (3.0)	Material and energy control (4.0)		Administración de operaciones de producción- Administración de operaciones de inventario	Entre estas dos funciones se presenta un flujo asociado a la capacidad de planificar requerimientos de recursos de producción a corto y largo plazo, así como también la realimentación referente a la disponibilidad actual de estos recursos.
				Los flujos de información entre las funciones son: <b>Long-term material and energy requirements:</b> Son definiciones secuenciadas en el tiempo de los recursos de material y energía que serán necesarios para la producción planificada. <b>Short-term material and energy requirements:</b> Son requerimientos de recursos que se necesitan en la programación actual o para ejecutar la producción. <b>Material and energy inventory:</b> Define la disponibilidad actual de material y energía, que se puede utilizar para planificación a corto plazo y para producción.

Product Cost Accounting (8.0)	Production Control (3.0)		Nivel 4 de Logística & Negocios - Administración de operaciones de producción (Aunque esta relación sobrepasa los límites del nivel 3, asume gran importancia en la optimización global)	<p>La importancia de este flujo de información radica en la integración de conceptos de negocios acoplados a la lógica de producción presente en nivel 3, permitiendo compartir objetivos asociados a costos de producción en términos de usos de recursos.</p> <p>Los flujos de información entre las funciones son:  <b>Production cost objectives:</b> Son los objetivos de desempeño de producción en términos de recursos. Pueden estar relacionados a un producto o proceso. Incluye materiales, horas de trabajo, uso energía y equipos.</p>
				<p><b>Production performance and costs:</b> Son los resultados reales del desarrollo de actividades de producción específicas.</p>
Quality Assurance (6.0)	Production Control (3.0)		Administración de operaciones de calidad- Administración de operaciones de producción	<p>La calidad es fundamental dentro de un proceso de producción, este flujo de información toma relevancia en el aseguramiento de la calidad de las actividades que se ejecutan y de los recursos que se utilizan dentro del programa de producción.</p> <p>Los flujos de información entre las funciones son:  <b>Quality assurance results:</b> Resultados de las pruebas de control de calidad realizadas en las materias primas, materiales en proceso, o productos.  <b>Standards and customer requirements:</b> Valores específicos de los atributos del producto que satisfacen las necesidades del cliente.</p>
				<p><b>Process data:</b> Información sobre los procesos de producción, en relación con productos específicos y solicitudes de producción.</p>

Product Inventory Control (7.0)	Production Scheduling (2.0)		Administración de operaciones de inventario - Administración de operaciones de producción	Esta relación se lleva a cabo para gestionar el manejo de inventarios de productos, con el fin de ejecutar la tarea de programación de la producción basándose en datos reales de capacidad de almacenamiento y manejo de stocks.
				Los flujos de información entre las funciones son: <b>Finished goods inventory:</b> Información sobre el inventario de productos terminados. <b>Pack out Schedule:</b> Consolidación de los artículos producidos para ser entregados a los clientes, inventario, u otros.
Maintenance Management (10.0)	Production Control (3.0)		Administración de operaciones de mantenimiento- Administración de operaciones de producción	Con este flujo de información se pretende asegurar el correcto funcionamiento de los recursos del sistema de producción, garantizando identificación y prevención de fallas, así como también oportuna atención por parte del área de mantenimiento.
				Los flujos de información entre las funciones son: <b>Maintenance responses:</b> Estado de una rutina de mantenimiento, programada o no planificada. <b>Maintenance technical feedback:</b> Información sobre el desempeño y la fiabilidad de los equipos de producción. <b>Maintenance requests:</b> Solicitud para realizar una función de mantenimiento.

**Tabla 1: Flujo de información involucrados en la programación de la producción.**



## ANEXO B - Paralelo entre los sistemas holónicos de manufactura y los sistemas multi-agentes

En la Tabla 2 se efectúa un paralelo entre los sistemas holónicos de manufactura (HMS) y los sistemas multi-agentes (MAS), resaltando las principales propiedades que los diferencian, con el objetivo de fundamentar la selección de unos de estos enfoques, el cual será la base conceptual para el desarrollo del método para la programación de la producción.

<b>Ítem de análisis</b>	<b>Sistemas Holónicos de Manufactura</b>	<b>Sistemas Multi-Agentes</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Autonomía</b>	Cada holón dentro de una holarquía posee una autonomía limitada a sus capacidades de afrontar un objetivo local, es decir tiene autonomía para definir y desarrollar funciones, así como también en toma de decisiones locales, pero a su vez debe responder a un ente mayor que supervisa los elementos dentro de cada holarquía.	Cada agente tiene autonomía total en el desarrollo de sus metas locales, sin embargo no se presenta una supervisión continua por parte de un entidad superior.	En este sentido ambos sistemas se adaptan a las necesidades del entorno, evitando retardos de tiempo y otros inconvenientes presentes en las jerarquías, debido a falta de dinamismo en la toma de decisiones. Aunque la ausencia de supervisión en los agentes puede llegar a constituir un problema de falta de coordinación, cooperación y eficiencia global del sistema de manufactura.
<b>Cooperación</b>	Los holones están en constante cooperación, con el objetivo de cumplir la misión global definida para la holarquía. Tienen la capacidad de auxiliar a otros holones en caso de que estos no puedan cumplir con su meta local.	La cooperación entre agentes se ve restringida al cumplimiento de las metas locales, en muchos casos, por encima de los objetivos globales del sistema.	Los holones son más cooperativos que los agentes [2], debido a una base conceptual que les permiten prescindir en cierto momento de su autonomía (acción guiada por un supervisor) con el objetivo de cooperar con otro holón para cumplir la misión dentro de su holarquía.

<p><b>Reorganización o redistribución</b></p>	<p>Las holarquías son jerarquías temporales, las cuales se modifican cuando se requiere cumplir un nuevo objetivo de producción o se presenta alguna alteración, esta propiedad permite la reorganización o redistribución de funciones y entidades físicas cuando se amerite.</p>	<p>Debido a su autonomía los elementos dentro de un sistema heterárquico pueden fácilmente redistribuir esfuerzos y funciones.</p>	<p>Los dos sistemas presentan ventajas frente a los requerimientos fluctuantes de un sistema de manufactura, en el que se pueden presentar múltiples factores que afecten el comportamiento estable y que procuren una redistribución de los elementos de trabajo. Sin embargo se continua presentando falencias en la cooperación entre agentes, aunque se cuenta con la capacidad de reorganización, no se notifica a los agentes la causa que produjo este cambio, lo que puede resultar en incoherencias y/o fallos funcionales.</p>
<p><b>Reactividad</b></p>	<p>Un holón debido a su posición dentro de una holarquía está en la capacidad de reaccionar ante cambios que afectan el cumplimiento de su misión local, así como la de la holarquía.</p>	<p>Un agente, responde a eventos que ocurren en su entorno. Estos eventos afectan tanto a los objetivos del agente como a los supuestos que soportan los procedimientos que el agente está ejecutando para lograr sus objetivos [3].</p>	<p>Un sistema reactivo representa una gran ventaja en el entorno inestable que representa un sistema de manufactura, en este sentido ambos paradigmas cumplen con los requerimientos, aunque en teoría se identifica que los sistemas heterárquicos son más reactivos que los holárquicos debido a la ausencia de un supervisor.</p>

<b>Proactividad</b>	La capacidad de anticiparse a variaciones que afecten el sistema, depende en gran medida del enfoque que se asume para desarrollar las funciones dentro del HMS. Un enfoque guiado por objetivos conserva la esencia de proactividad, debido a que la falla en un recurso o cualquier elemento involucrado en el sistema se traducen en incumplimiento del objetivo global, así se prevén las desviaciones de forma eficiente.	Los agentes no actúan simplemente en respuesta a su entorno, son capaces de exhibir comportamiento dirigido por objetivos tomando la iniciativa [4].	En ambos paradigmas la característica de proactividad se adquiere dependiendo del enfoque con que se diseñe e implemente el sistema. Un enfoque guiado por objetivo representa una gran eficiencia en términos de proactividad.
<b>Componentes</b>	Un holón está compuesto por una parte física y una de información, la primera representa un objeto tangible dentro del sistema productivo (por ejemplo un maquina), mientras que la segunda caracteriza la información y los mecanismos necesarios para que el holón adquiera las propiedades anteriormente mencionadas y cumpla sus objetivos de producción.	Regularmente un agente tiene únicamente un componente de información, el cual gestiona las funciones que desarrolla el agente. Cabe resaltar que algunos autores, dependiendo del enfoque, plantean la inclusión de una parte física dentro un MAS. Por ejemplo, FIPA <sup>1</sup> , recientemente ha definido la noción de “Agente Físico”.	La inclusión de un componente físico dentro del sistema representa un aspecto clave en la eficiencia y productividad del mismo. Debido a que modelar estos recursos, constituye una mejor gestión de los mismos en búsqueda de optimizar el proceso productivo.

<sup>1</sup> FIPA: Foundation for Intelligent Physical Agents, es un organismo enfocado en el desarrollo y establecimiento de estándares de software para agentes.

<b>Tiempo de procesamiento</b>	Los holones deben cumplir ciertas restricciones de tiempo de procesamiento en el desarrollo de sus actividades, dependiendo de los requerimientos de su holarquía.	Un agente no puede garantizar las restricciones de tiempo real, esto considerando que son entidades totalmente autónomas y como tal pueden emplear el tiempo que consideren necesario para dar una solución a determinada situación [5].	Al no existir un límite de tiempo de procesamiento en los agentes dentro de un sistema heterárquico, se puede incurrir en múltiples problemas, asociados por ejemplo a aspectos de sincronización de tareas y optimización de recursos.
<b>Recursividad</b>	Un HMS es recursivo debido a que un holón, por definición, es a la vez una parte y un todo. Además de esta característica se tiene la propiedad de auto-similaridad entre holones, la cual les permite un acople estructural y funcional, facilitando también la adición de nuevos holones al sistema.	En la literatura no se encuentra una arquitectura MAS con propiedades de recursividad, sin embargo no se puede descartar esta propiedad en un sistema multi-agente.	En el contexto de los sistemas de manufactura, la recursividad característica del paradigma holárquico representa múltiples ventajas, que se ven reflejadas por ejemplo, en la disminución de tiempos de reconfiguración en base a dicha propiedad.

**Tabla 2: Paralelo entre los sistemas holónicos de manufactura (HMS) y los sistemas multi-agentes (MAS).**

## ANEXO C – Técnicas de modelado empresarial

Cada organización ejecuta actividades internas con el fin de cumplir con los objetivos y lineamientos definidos por el nivel de planificación empresarial. El modelado empresarial es el arte de exteriorizar el conocimiento inmerso en dichas actividades, agregando valor a la empresa o compartiéndolo según la necesidad. Consiste en crear modelos de la estructura, comportamiento y organización de la empresa [6]. Cabe resaltar que la elección de tecnologías es llevada a cabo después de realizar el modelado empresarial, es decir la elección de soluciones tecnológicas es una consecuencia del modelado empresarial y no viceversa. El modelado empresarial se divide en dos tipos: estructural y dinámico. El modelado estructural permite describir los componentes de un sistema y las relaciones estáticas entre ellos, las técnicas de modelado estructural empleadas en este trabajo son IDEF0 y UML. Por otra parte, el modelado dinámico expone el comportamiento del sistema en función del tiempo, la técnica de modelado dinámico empleada en este trabajo es WF-Net, a continuación se presentan las bases teóricas de dichas técnicas.

### 1. IDEF0 (*Integration DEFinition Zero*)

IDEF es una popular técnica para analizar y diseñar sistemas complejos, la cual consiste en un conjunto de múltiples herramientas de modelado. IDEF0 es una de estas herramientas, aplicada para representar de manera estructurada y jerárquica las actividades que conforman un sistema o empresa y los objetos o datos que soportan la interacción de dichas actividades. Describe el sistema mediante un lenguaje gráfico que obedece ciertas reglas; como se ilustra en la Figura 1, los rectángulos son usados para representar las actividades, las flechas que conectan los rectángulos representan la información de entrada y salida. Las flechas en el lado izquierdo y en la parte superior representan los datos necesarios para cumplir las tareas, las flechas en el lado derecho representan los datos de salida, y las flechas en la parte inferior representan los mecanismos, humanos o máquinas, que desarrollan las tareas [7].



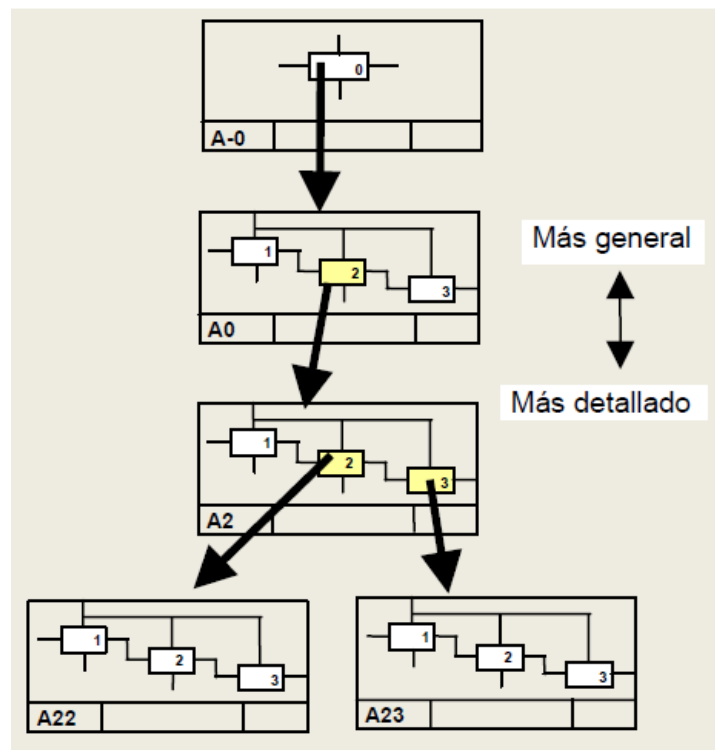
**Figura 1: Esquema básico IDEF0.**

Fuente: Material de clase, Modelado de sistemas integrados de producción, Oscar Amaury Rojas.

Para complementar la descripción del esquema IDEF0, se define a continuación los elementos que lo conforman:

- **Entradas:** Material o información consumida o transformada por una actividad para producir salidas.
- **Salidas:** Objetos, información, productos o servicios producidos por la actividad o proceso.
- **Control o guía:** Objetos que gobiernan o regulan cómo, cuándo y si una actividad se ejecuta o no (normas, guías, políticas, reglas, especificaciones, procedimientos, etc.).
- **Mecanismos:** Recursos necesarios para ejecutar un proceso (máquinas, datos, instalaciones, recursos humanos, etc.)

Cada modelo tiene un diagrama macro o de nivel superior, en el cual el proceso principal del modelo es representado por una sola actividad con sus respectivos flujos de información. Este es etiquetado como diagrama A-0, este diagrama fija el alcance y la orientación del modelo. Posteriormente la actividad principal se puede descomponer en sub-funciones creando diagramas que modelan un nivel de detalle mayor, de forma consecutiva cada una de estas sub-funciones se puede descomponer a su vez en diagramas de nivel inferior, tal proceso se observa en la Figura 2.



**Figura 2: Jerarquía en IDEF0.**

Fuente: Material de clase, Modelado de sistemas integrados de producción, Oscar Amaury Rojas.

## 2. UML (*Unified Modeling Language*)

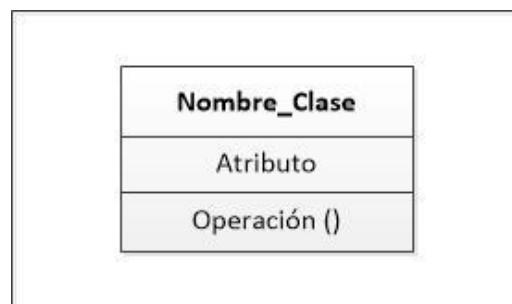
Lenguaje Unificado de Modelado (UML), es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad; aun cuando todavía no es un estándar oficial, está respaldado por el OMG (*Object Management Group*). Es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar un sistema de software. UML ofrece un estándar para describir un "plano" del sistema (modelo), incluyendo aspectos conceptuales tales como procesos de negocios y funciones del sistema, y aspectos concretos como expresiones de lenguajes de programación, esquemas de bases de datos y componentes de software reutilizables. UML cuenta con varios tipos de diagramas, los cuales muestran diferentes aspectos de las entidades representadas [8]. En UML hay 13 tipos diferentes de diagramas, en el presente trabajo se utilizan el diagrama de clases y el diagrama de secuencia, a continuación se presentan los principales conceptos de estos diagramas:

### 2.1 Diagrama de clases

El diagrama de clases describe los tipos de objetos que hay en el sistema y las diversas clases de relaciones estáticas que existen entre ellos. Hay dos tipos principales de relaciones estáticas:

- Asociaciones (por ejemplo, un cliente puede rentar diversos videos).
- Subtipos (por ejemplo, una enfermera es un tipo de persona).

Los diagramas de clase también muestran los atributos y operaciones de una clase y las restricciones a que se ven sujetos, según la forma en que se conecten los objetos [9]. En un modelo UML, una clase es “*una descripción de un conjunto de objetos que comparten los mismo atributos, operaciones, métodos, relaciones y semántica*”. Así el elemento fundamental de los diagramas de clase es el icono que representa una clase, el cual es representado por un rectángulo dividido en tres secciones, como se puede apreciar en la Figura 3, la sección superior contiene el nombre de la clase, la sección intermedia contiene la lista de atributos y la sección inferior contiene la lista de operaciones de la clase. Tanto la sección de atributos como la sección de operaciones puede omitirse [10].

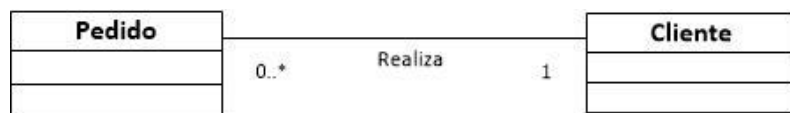


**Figura 3: Icono clase, Diagrama de clases UML.**

Fuente propia.

En un diagrama de clases las principales relaciones que podemos encontrar son:

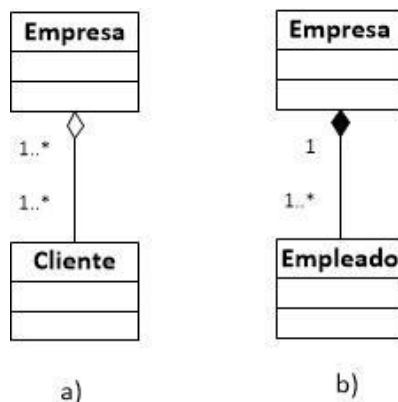
**Asociación:** Representan las relaciones más generales entre clases, para UML una asociación va a describir un conjunto de vínculos entre las instancias de las clases. La forma de representar una asociación es mediante una línea que conecta las dos clases, en general, las asociaciones son bidireccionales, esto es, no tienen un sentido asociado. Cada asociación tienen dos roles; cada rol marca una dirección en la asociación. Así, en la Figura 4 la asociación entre cliente y pedido tiene dos roles: uno de *Pedido* a *Cliente* y otro de *Cliente* a *Pedido*. A cada rol se le puede asociar una etiqueta con su nombre, si un rol no tiene asociado un nombre se le da el nombre de la clase destino de la asociación [10]. Cada rol tiene asociado una **multiplicidad** que indica el número de instancias de una clase vinculadas a una de las instancias de la otra clase. Para el caso de la Figura 4, un *Cliente* puede realizar 0 o más *Pedidos* (0..\*), y un *Pedido* está asociado a un único *Cliente* (1).



**Figura 4: Asociación-Multiplicidad, Diagrama de clases UML.**

Fuente propia.

**Agregación / Composición:** La **agregación** es una relación en la que una de las clases representa un todo y la(s) otra(s) representan parte de ese todo. Se grafica con un rombo vacío que apunta al todo, como se indica en la Figura 5.a, en la cual una *Empresa* está compuesta de 1 o más *Cientes* (1..\*), si la clase *Empresa* se destruye, la clase *Cliente* sigue existiendo. La **composición** es una forma más fuerte de agregación, en la que el todo no puede existir sin sus partes, si se borra un objeto, todas sus partes se borran con él. Se grafica con un rombo relleno que apunta al todo, en la Figura 5.b se observa un ejemplo de composición, en la cual la clase *Empresa* se compone de 1 o más *Empleados* (1..\*) pero la existencia de una de las clases depende directamente de la otra.

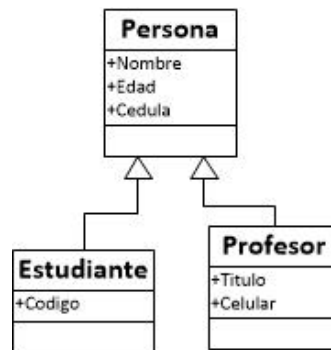


**Figura 5: Agregación / Composición, Diagrama de clases UML.**

Fuente propia.



**Herencia (Generalización/Especialización):** Indica que una subclase hereda los métodos y atributos especificados por una súper clase, por ende la sub-clase además de poseer sus propios métodos y atributos, poseerá las características y atributos visibles de la súper clase, la herencia se representa mediante una flecha, cuya punta es un triángulo vacío, dicha flecha va orientada desde la sub-clase a la súper clase como se observa en la Figura 6, en la cual la súper clase *Persona* hereda los atributos públicos *Nombre*, *Cedula* y *Edad* a las sub-clases *Profesor* y *Estudiante*.



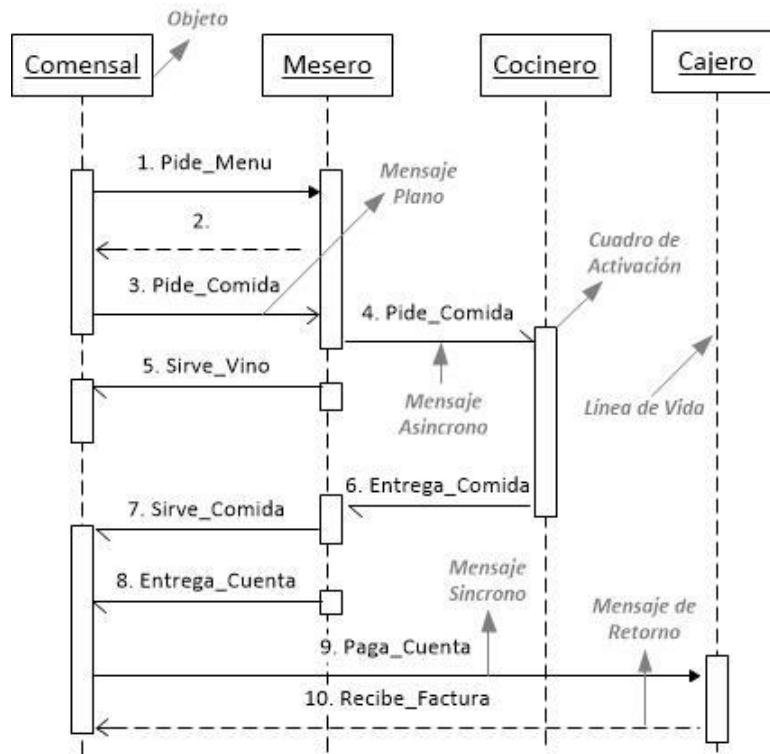
**Figura 6: Herencia, Diagrama de clases UML.**

Fuente propia.

## 2.2 Diagrama de secuencia

Los diagramas de secuencia muestran la forma en que un grupo de *objetos* se comunican (interactúan) entre sí a lo largo del tiempo. En un diagrama de secuencia, un objeto se muestra como un cuadro en la parte superior de una línea vertical punteada (véase Figura 7), esta línea se llama *línea de vida* del objeto, la cual representa la vida del objeto durante la interacción. Cada mensaje se representa mediante una flecha entre las líneas de vida de dos objetos, el orden en el que se dan estos mensajes transcurre de arriba hacia abajo [9]. En la Figura 7 se muestran los diferentes tipos de mensajes, resaltando la diferencia entre mensajes síncrono, asíncronos, planos y de retorno. Un *mensaje síncrono* (ejemplo *Mensaje 1. Pide\_Menu*) implica que el transmisor espera hasta que el mensaje es recibido y recibe una confirmación satisfactoria de la recepción desde el receptor. Por lo tanto, el transmisor se detiene esperando por una operación completa y satisfactoria. Por otro lado, un *mensaje asíncrono* (ejemplo *Mensaje 4. Pide\_Comida*) no necesita esperar por una confirmación o recepción satisfactoria. Entonces, el transmisor luego de enviar un mensaje asíncrono continúa haciendo su trabajo. Un *mensaje plano* (ejemplo *Mensaje 3. Pide\_Comida*) representa un mensaje síncrono o asíncrono dependiendo de la interpretación o el contexto. Un *mensaje de retorno* (ejemplo *Mensaje 10. Recibe\_Factura*) es usado para mostrar un mensaje de confirmación (dicho mensaje es opcional). Los *cuadros de activación* representan el tiempo que un objeto necesita para completar una tarea. Los *marcos* permiten encapsular diagramas de secuencia y reusarlos como parte de un diagrama de secuencia más grande. Así, los marcos permiten modelar

el comportamiento de un sistema de manera separada y también integrar comportamientos ya modelados [11]. Por ejemplo una repetición es representada por un marco junto con la etiqueta *loop*, mientras que la etiqueta *alt* contiene una lista de fragmentos que definen secuencias de mensajes alternativos, solo se produce una secuencia en cada ocasión. En la Figura 7 se modela el diagrama de secuencia del proceso por el cual se presta servicio a un cliente en un restaurante.

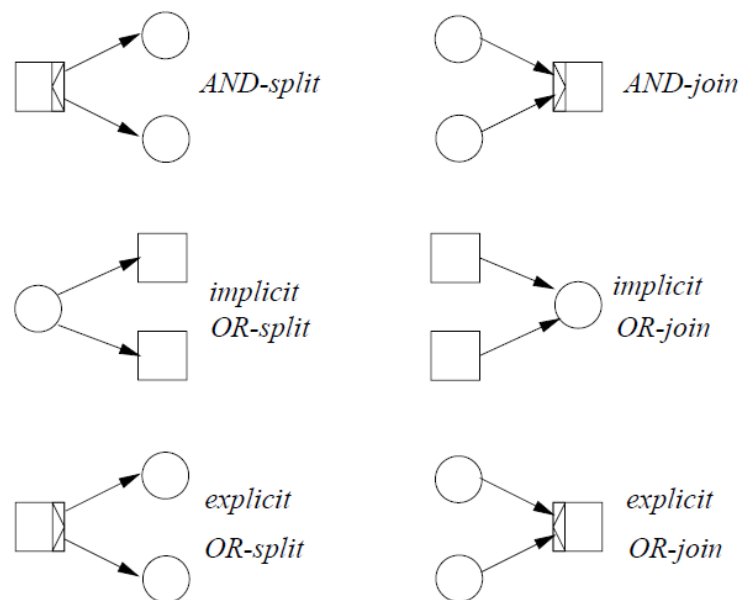


**Figura 7: Diagrama de secuencia UML.**  
Fuente propia.

### 3. WF-Net (*WorkFlow-Net*)

Una red de Petri que modela una definición de proceso de workflow (es decir, el ciclo de vida de un caso aislado) se llama una red de WorkFlow (WFNet). Una WF-Net satisface dos requisitos, primero que todo, una WF-Net tiene un lugar de entrada (*i*) y un lugar de salida (*o*). Una marca o token en *i* corresponde a un caso que necesita ser manejado, una marca en *o* corresponde a un caso que ya ha sido manejado. En segundo lugar, en una WF-Net no hay tareas y/o condiciones pendientes. Cada tarea (transición) y condición (lugar) deben contribuir al procesamiento de casos. Por lo tanto, cada transición *t* (lugar *p*) se debe situar en una trayectoria entre el lugar *i* al lugar *o* [6]. Una red de Petri básica es definida formalmente por el conjunto (P, T, F), donde P son los lugares, T las transiciones y F los

arcos que las unen. Los lugares P corresponden a las condiciones o estados en WF-Net, así como las transiciones T corresponden a las tareas. Las marcas o tokens en WF-net representan el estado de un caso singular procesado en workflow. Las condiciones o estados son representados mediante un círculo, una tarea es representada mediante un cuadrado, el orden de las tareas se representa mediante arcos, y las marcas o tokens se representan mediante un punto negro sobre los estados. Las WF-Nets utilizan diferentes estructuras de enrutamiento para modelar la dinámica de los procesos, el enrutamiento secuencial es utilizado para representar relaciones causales entre tareas, por ejemplo dos tareas A y B son secuenciales si la tarea B es ejecutada después de la finalización de la tarea A. El enrutamiento paralelo es usado en situaciones en donde el orden de ejecución de las tareas es menos estricto, por ejemplo, dos tareas A y B necesitan ser ejecutadas pero el orden de ejecución es arbitrario, para modelar un enrutamiento paralelo se utilizan los bloques de construcción: AND-split y AND-join. El enrutamiento condicional se utiliza para permitir la selección de una ruta entre varios casos. Para modelar una opción entre dos o más alternativas, se utilizan dos bloques de construcción: OR-split y el OR-join, por ejemplo, después de finalizar una tarea A se realiza la tarea B o la tarea C, la selección de las tareas B o C se realiza en el momento en que una de las dos tareas se ejecuta, sin embargo puede ocurrir que dicha selección se realice en el momento exacto en que la tarea A concluye [12]. Existen dos tipos de bloques OR, implícito y explícito, la diferencia entre los dos radica en el proceso de toma de decisión, en la OR explícita la selección entre las dos tareas se efectúa de manera “anticipada”, bajo una condición predefinida en la tarea o transición, para el caso de la OR implícita, esta decisión se efectúa de manera “atrasada”, y depende de cuál de las tareas posteriores acontezca primero. En la Figura 8 se observan los bloques de construcción utilizados en WF-Net.



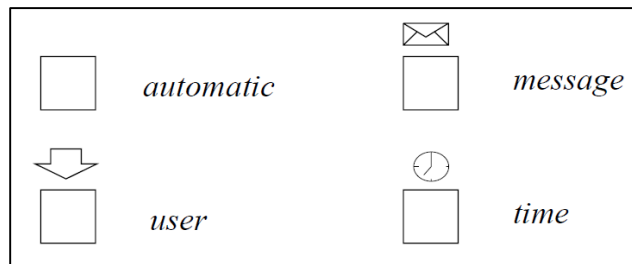
**Figura 8: Bloques de construcción de WF-Net.**

Fuente: The Application of Petri Nets to Workflow Management, Van der Aalst.

Es importante distinguir entre la habilitación y la ejecución de una tarea, ya que el habilitar una tarea no implica que esta será ejecutada (inmediatamente). Un *trigger* se define como una condición externa que conduce a la ejecución de una tarea habilitada. Se pueden distinguir cuatro tipos de trigger:

- *Automática*: Una tarea se acciona al momento que se habilita. Se utiliza para las tareas que son ejecutadas por una aplicación que no requiere la interacción humana.
- *Usuario*: Una tarea es accionada por un participante humano.
- *Mensaje*: Un acontecimiento externo (es decir un mensaje) acciona una tarea habilitada, por ejemplo llamadas telefónicas, email, etc.
- *Tiempo*: La tarea es accionada en base a un temporizador.

En la Figura 9 se exponen los diferentes tipos de triggering:



**Figura 9: Tipos de Triggering.**

Fuente: The Application of Petri Nets to Workflow Management, Van der Aalst

## **ANEXO D – Caso de estudio: Proceso de elaboración de embutidos**

En este anexo se expone de manera general el proceso de elaboración de embutidos. Como primera medida se presenta información relevante de este producto, así como las etapas y flujos involucrados para su elaboración. En la segunda parte se aplican algunos modelos del estándar ISA al proceso, específicamente el modelo de control de procedimientos de ISA-88, además del modelo de equipos encontrado en el estándar ISA-95.

### **1. Información general del proceso**

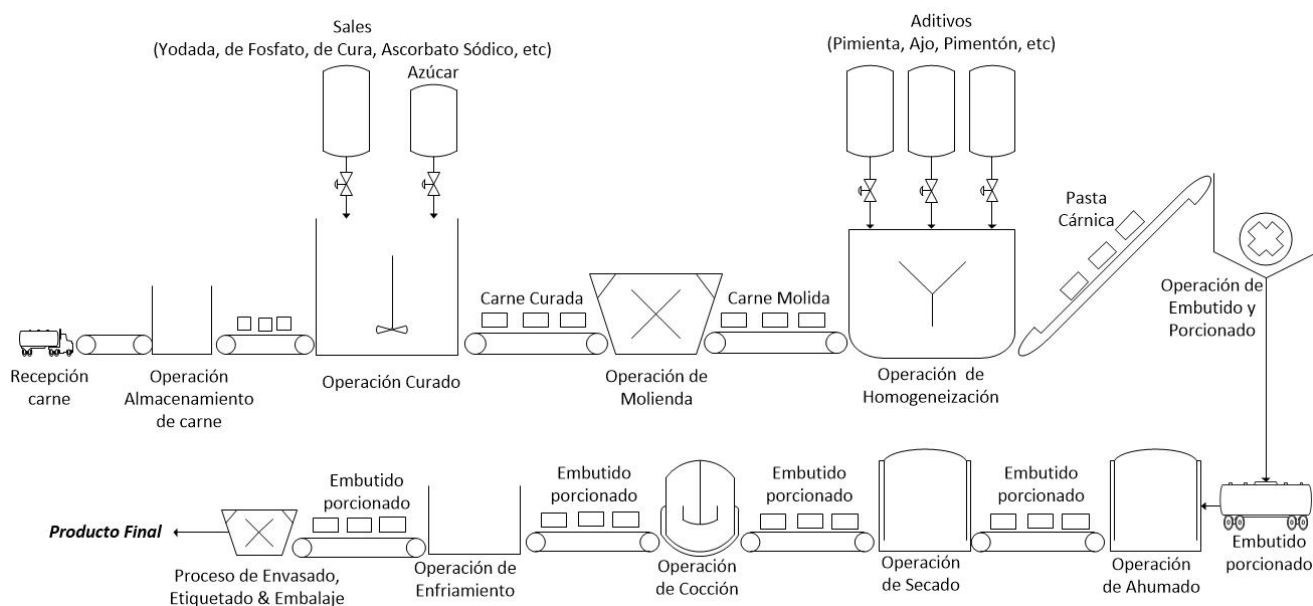
En un marco general, se entiende por embutidos, aquellos productos y derivados cárnicos preparados a partir de una mezcla, de carne picada, grasas, sal, condimentos, especias y aditivos, la cual se introduce en tripas naturales o artificiales; los embutidos son considerados productos de consumo, tangibles y no duraderos. La evolución que ha tenido este tipo de alimento ha dado origen a una gran variedad de productos de características totalmente diferentes, como consecuencia de los distintos procesos de elaboración impuestos por la disponibilidad de materias primas y de las necesidades del cliente [13]. Los embutidos se han convertido en un alimento básico en la canasta familiar de los colombianos debido a la calidad de los productos, contribución nutricional, precios asequibles, y las diferentes presentaciones encontradas en el mercado. Actualmente, las empresas dedicadas a la elaboración de embutidos, intentan captar la atención de los consumidores ofreciendo múltiples opciones de productos que logren satisfacer sus aspiraciones de nutrición, salud y bienestar, al tiempo que se impulsan estrategias para promover estilos de vida saludables y alimentación balanceada.

Una de las principales ventajas de los productos embutidos, es el hecho de que su preparación es muy rápida, frente a otros productos cárnicos. Igualmente, el consumidor tiene una gran variedad de presentaciones que satisfacen distintos mercados y gustos, dado que la línea de productos derivados de los embutidos es muy amplia, dentro de esta línea se pueden encontrar: salchichas, jamón, salami, pepperoni, mortadela, entre otros, y cada uno de ellos cuenta con diferentes tamaños, formas y precios. En Colombia, las salchichas representan el 31% de los productos cárnicos, seguido del salchichón con un 23% y las mortadelas con el 10%. El auge de estos productos es tal, que marcas en Colombia como Zenú, Rica y Suizo entre otras destacan que las ventas superan el valor de 1,7 billones de pesos. Respecto a la distribución de los productos, las empresas han desarrollado toda una red de distribución a lo largo del territorio colombiano, es decir, cuentan con sucursales que actúan como línea directa en la consecución del producto para llegar a los grandes supermercados de cadena o a las tiendas ubicadas en sitios residenciales.

En general, los embutidos son un producto de gran demanda en Colombia y cuentan con buena aceptación entre los consumidores, tratando siempre de satisfacer las necesidades del cliente a través de productos innovadores; además se resalta el hecho de que esta industria aporta rentabilidad y crecimiento a la competitividad mercado nacional.

## 2. Descripción del proceso productivo

En esta sección se describe el proceso de fabricación de embutidos, en la Figura 10 se observa un diagrama de flujo donde se presentan las principales etapas dentro del proceso de elaboración de embutidos, cabe resaltar que según el tipo de producto, alguna de estas etapas se omiten según sea el caso. La primera etapa en la elaboración de embutidos es el proceso de curado, en donde se adiciona a la carne una combinación de sal yodada, sal de cura, azúcar, entre otros, el tiempo de este proceso varía entre 12 y 24 horas dependiendo del producto en específico. La segunda etapa corresponde al proceso de molienda y homogeneizado, la carne curada es molida hasta quedar en pequeños gránulos, para después ser mezclada con ciertos aditivos como pimienta, ajo y pimentón, hasta conseguir una consistencia adecuada. La mezcla obtenida anteriormente se conoce como pasta cárnica y es utilizada en la siguiente etapa, de embutido y porcionado, en la cual la pasta cárnica es embutida en fundas que le dan forma y tamaño al producto. Una vez el producto es embutido y porcionado, este es llevado a un cuarto de secado por 12 horas. Después del proceso de secado, los embutidos pasan a la etapa de ahumado y cocido, en donde el producto es cocido en agua a temperatura aproximadamente de 75°C por veinte minutos, inmediatamente las carnes embutidas son enfriadas a temperatura de 18° C. De esta forma, el producto está listo para las posteriores etapas de envasado, etiquetado y embalaje.



**Figura 10: Diagrama de flujo del proceso de elaboración de embutidos.**

Fuente propia.

En base al proceso productivo y a las características del producto final, los embutidos se pueden clasificar en múltiples categorías (como se presenta en [14]), estas incluyen: embutidos frescos (*Fresh Sausages*), embutidos secos (*Dry Sausages*) y embutidos cocidos y ahumados (*Cooked and Smoked Sausages*). Los *embutidos frescos* se hacen de cortes de carnes frescas, y no pasan por ningún proceso de curado, ahumado ni cocción. Estos embutidos deben mantenerse en refrigeración permanente, y deben ser cocidos por el propio consumidor antes de ser consumidos. Como ejemplos de embutidos frescos encontramos, las salchichas frescas de cerdo, salchichas italianas y chorizos frescos. Los *embutidos secos* se caracterizan por un proceso de fermentación en base a agentes bacterianos, los principales productos pertenecientes a esta categoría de embutidos son el salami y el pepperoni. Los *embutidos cocidos y ahumados* son elaborados a partir de carne fresca, sometida a una etapa de curado, y típicamente a un proceso de ahumado y cocción, los principales productos asociados a esta categoría de embutidos son las salchichas “Frankfurter” y la mortadela.

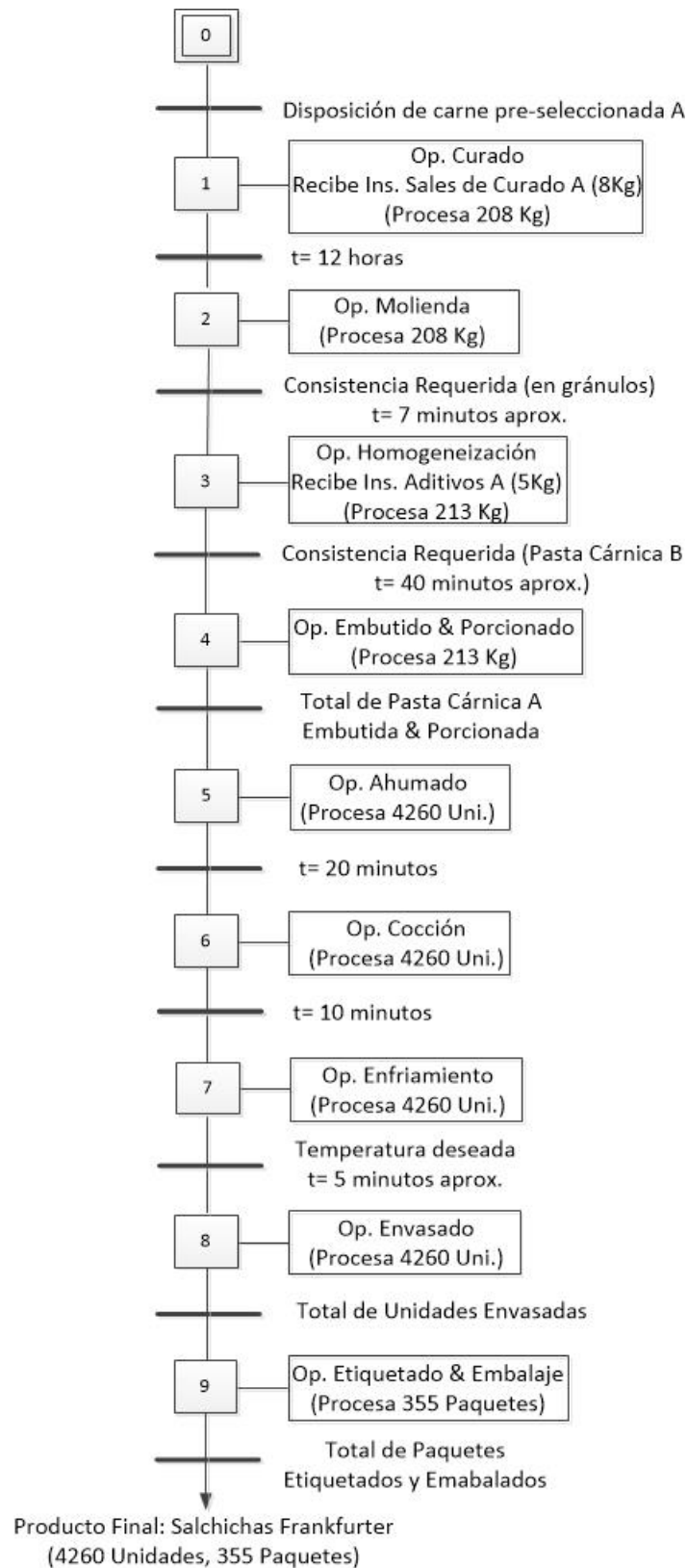
En el presente trabajo se toma como referencia esta clasificación para identificar las tres líneas de producción del proceso de elaboración de embutidos, de esta manera los 3 productos en específico que se consideran para el caso de estudio son las salchichas Frankfurter, el salami y las salchichas frescas de cerdo. Como especificaciones de estos productos tenemos que, las salchichas Frankfurter tienen un peso aproximado de 30 gramos, una longitud aproximada de 17 cm, y para el caso vienen en presentación de 12 unidades por paquete, y una caja contiene 24 paquetes. Por otro lado el salami, es un producto con un peso aproximado de 1 Kg, longitud de 40 cm, el cual no se agrupa, por el contrario se disponen por individual al público, y una caja contiene 12 unidades. Por su parte, las salchichas frescas de cerdo tienen un peso aproximado de 25 gramos, una longitud de 12 cm, y para el caso vienen en presentación de 9 unidades por paquete, y una caja contiene 30 paquetes.

Posteriormente, mediante el uso de los modelos detallados en el estándar ISA, se definirán las características del proceso asociado a cada uno de estos productos, así como los recursos involucrados en su elaboración.

### **3. Etapa de aplicación de modelos ISA**

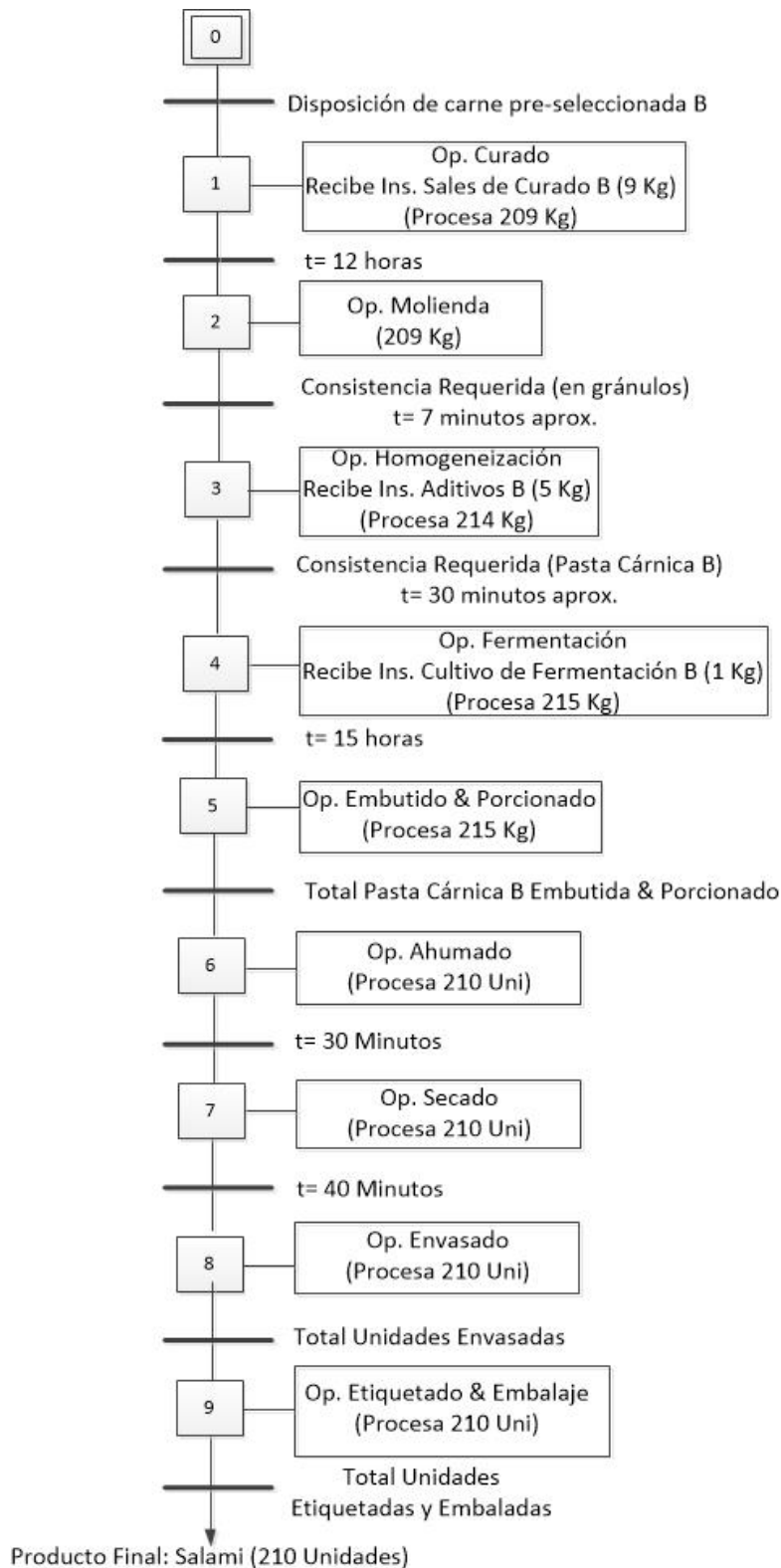
Con el fin continuar con la descripción del proceso productivo de los embutidos, y basándose en las indicaciones definidas en la segunda etapa dentro del procedimiento para aplicación del método para la programación de la producción, se propone en esta sección aplicar *el modelo de control de procedimiento y el modelo de equipos* definidos por el estándar ISA.

El *modelo de control de procedimientos* está enfocado en la definición estructurada de la secuencia de operaciones que se debe llevar a cabo con el fin de elaborar un producto específico. Al aplicar la noción inherente a este modelo, se tiene como resultado la especificación de una regla de producción. Para el caso de estudio se definen tres reglas de producción para cada tipo de producto, presentadas de forma gráfica mediante Grafcet, las Figuras 11, 12 y 13 exponen las reglas de producción de las salchichas Frankfurter (FK), el Salami (SL), y las salchichas frescas de cerdo (SFC), respectivamente.



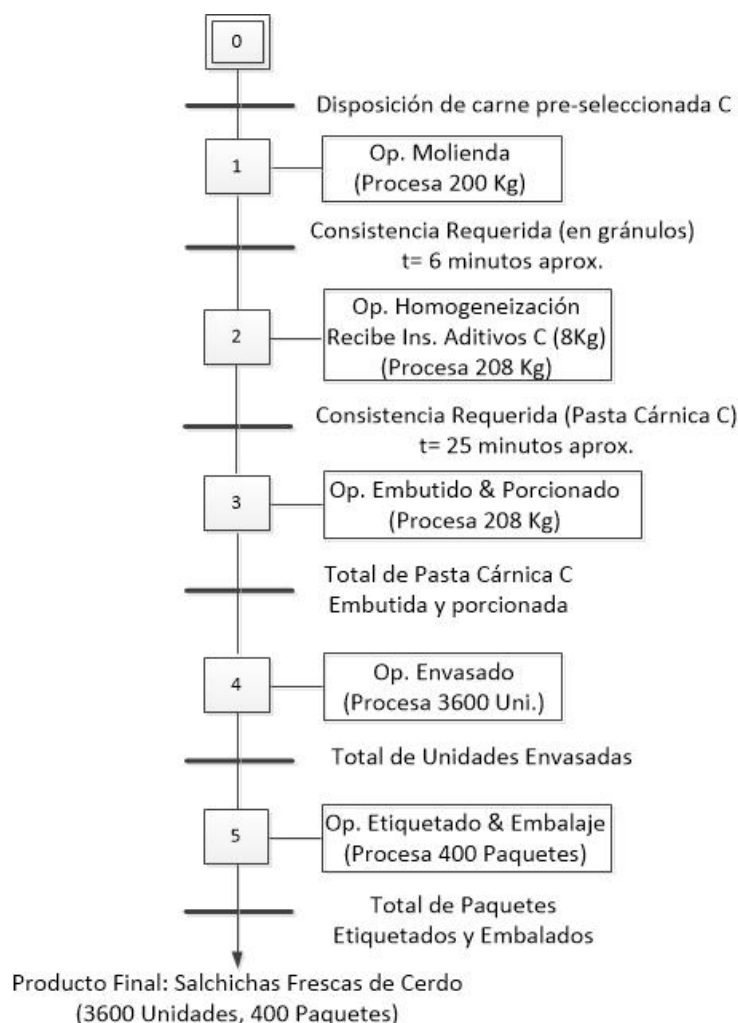
**Figura 11: Regla de producción de salchichas Frankfurter.**  
Fuente propia.





**Figura 12: Regla de producción de Salami.**

Fuente propia



**Figura 13: Regla de producción de Salchichas frescas de cerdo.**

Fuente propia

Cabe resaltar que la definición, de las especificaciones y el orden las operaciones, así como también de las características de los insumos y materias primas, se fundamenta en la información dispuesta en manuales y documentos varios enfocados en buenas prácticas en el sector de los embutidos y no se relacionan directamente a una empresa real. Por este motivo, y fundamentándose en que el enfoque del método no es la gestión de materias primas, no se profundiza en especificaciones de estos insumos, y para el caso, con el fin de evitar inconvenientes en la comprensión de las tres reglas de producción, se asocian las materias primas, insumos y productos intermedios a un tipo de producto específico, así los elementos con la etiqueta “A” se relacionan con las salchichas Frankfurter, los “B” con el Salami y los “C” con las salchichas frescas de cerdo. Por último se resalta el hecho de que estas reglas de producción pueden sufrir modificaciones dependiendo de los lineamientos de la empresa de embutidos en específico.

Por su parte, el *modelo de equipos* definido en el estándar ISA-95 tiene como objetivo agrupar los recursos o equipos de la empresa de acuerdo a las capacidades operacionales de los mismos, de esta forma, lo que se pretende al aplicar este modelo en el caso de estudio, es facilitar el proceso tanto de identificación de todos los equipos del sistema de manufactura, como el proceso posterior de asignación de recursos en base al protocolo especificado para el método. De esta manera, la Tabla 3 reúne todos los recursos involucrados en el sistema de manufactura de embutidos del caso de estudio. Basándose en las nociones holónicas del método para la programación de la producción, a cada equipo dentro de la tabla se le asigna una etiqueta, asociada directamente con un holón recurso dentro de la UPH.

<b>Etiqueta</b>	<b>Recurso</b>	<b>Competencia</b>	<b>Capacidad Máxima</b>
<b><i>Recursos Tipo I</i></b>			
HR1	Tanque Mezclador 1	Op. Curado Op. Fermentación	260 Kg
HR2	Tanque Mezclador 2	Op. Curado Op. Fermentación	360 Kg
HR3	Tumbler	Op. Curado	450 Kg
HR4	Tanque/Contenedor	Op. Fermentación Op. Curado Manual	300 Kg
<b><i>Recursos Tipo II</i></b>			
HR5	Molino industrial	Op. Molienda	300 Kg
HR6	Picadora 1	Op. Molienda	900 Kg
HR7	Picadora 2	Op. Molienda	310 Kg
<b><i>Recurso Tipo III</i></b>			
HR8	Cutter 1	Op. Homogeneización	320 Kg
HR9	Cutter 2	Op. Homogeneización	615 Kg
<b><i>Recurso Tipo IV</i></b>			
HR10	Embutidora/Porcionadora	Op. Embutido & Porcionado	2250 Kg/hora
<b><i>Recurso Tipo V</i></b>			
HR11	Horno Multifuncional / 4 Cámaras	Op. Ahumado Op. Secado Op. Cocción	365 Uni. por Cámara (SL) - 2200 Uni. por cámara (FK & SFC)
<b><i>Recurso Tipo VI</i></b>			
HR12	Cámara Frigorífica	Op. Enfriamiento	4500 Unidades
<b><i>Recurso Tipo VII</i></b>			
HR13	Maquina Multifuncional para Embalaje	Op. Envasado Op. Etiquetado Op. Embalaje	5000 Unidades/hora

**Tabla 3: Recursos del sistema de manufactura de embutidos de caso de estudio.**

## REFERENCIAS

- [1] ISA-95.01, "Enterprise Control System Integration Part 1: Models and Terminology", American National Standard, USA, 2000.
- [2] G. Langer, "HoMuCS: A methodology and architecture for Holonic Multicell", Technical University of Denmark, Dinamarca, 1999.
- [3] L. Wang y Q. Hao, "Agent based distributed manufacturing process planning and scheduling: A state of the art survey", *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics*, vol. 36, no. 4, pp. 563 - 577, Julio, 2006.
- [4] A. S. Giret, "ANEMONA: Una Metodología Multi-agente para Sistemas Holónicos de Fabricación, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2005.
- [5] J. C. Solano y M. I. Urbano, "Definición de un método para administración de operaciones de inventario desde el paradigma de los sistemas holónicos de manufactura", Tesis de Pregrado, Universidad del Cauca, Colombia, 2013.
- [6] O. Rojas, "Revisión bibliográfica de Workflow Nets (WF-Nets) en la integración empresarial", Universidad del Cauca, Colombia, 2012.
- [7] D. Linfeng, G. Qiang y W. Lin, "An IDEF0 design for PDM-based die integrated intelligent design system functional model", *System engineering procedia*, vol. 1, pp. 372-376, Octubre, 2011.
- [8] F. Hernández, "Desarrollo de máquinas de estados jerárquicas en Java siguiendo un enfoque de desarrollo dirigido por modelos", Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia, 2012.
- [9] M. Fowler y K. Scott, "UML gota a gota", Estados Unidos, 1997.
- [10] F. J. García y C. Pardo, "Diagramas de clases en UML 1.1", *Revista Profesional para Programadores*, vol. 38, pp. 71-76, Marzo, 1998.
- [11] C. Vidal, L. López, S. Rivero y R. Meza, "Extensión del Diagrama de Secuencias UML para el Modelado orientado a Aspectos", *Información Tecnológica*, vol. 24, no. 5, pp. 3-12, Julio, 2013.
- [12] W.M.P Van der Aalst, "The application of Petri nets to workflow management", *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 8, no. 1, pp. 21-66, 1998.
- [13] F. Jiménez y J. Carballo, "Principios básicos de elaboración de embutidos", España, 1989.
- [14] The U.S. Department of Agriculture (USDA), "Safe Practices for Sausages Production", Distance Learning Course Manual, USA, 1999.