

**MODELADO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN DEL PROCESO DE  
MANUFACTURA.**



**Jorge Andrés Girón Cruz  
Edna Margarita Moncayo Torres**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2010**

**MODELADO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN DEL PROCESO DE  
MANUFACTURA.**

Jorge Andrés Girón Cruz  
Edna Margarita Moncayo Torres

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

Director  
Mariela Muñoz Añasco  
Magister

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2010**

Nota de Aceptación

---

---

---

Director

\_\_\_\_\_  
Msc. Mariela Muñoz Añasco

Jurado \_\_\_\_\_

Jurado \_\_\_\_\_

Fecha de sustentación: Popayán, Julio de 2010

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores del presente trabajo, manifiestan sus agradecimientos a su director, Msc. Mariela Muñoz Añasco, al Msc. Álvaro René Restrepo por su colaboración a lo largo de todo el proyecto, al grupo de Automatización Industrial, a la Universidad del Cauca, a ingenieros, amigos y compañeros, quienes contribuyeron con el desarrollo de este trabajo.

Además agradecemos la colaboración de la Industria Licorera del Cauca y a todo su personal especialmente a los ingenieros Jaime Mendoza, Roberto Mosquera.

*Primero es a Dios por darme la vida.  
A mis padres por su enseñanza, amor y su apoyo todos estos años, por su infinito  
amor comprensión y por ayudarme a que este momento llegara.  
A mi hermano por su apoyo, compañía y entusiasmo para ayudarme a lograr esta  
meta.  
A mi demás familia, a mis amigos, profesores y a la Universidad del Cauca.  
ANDRÉS.*

*Gracias a Dios, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi  
vida.  
Gracias a mis padres, por su cariño, comprensión y apoyo sin condiciones ni  
medida.  
Gracias a mi hermano por su apoyo, además de ser mí mejor amigo  
Gracias a mi abuelita por encomendarme siempre con Dios para que saliera  
adelante, yo se que sus oraciones fueron escuchadas.  
Gracias a mis demás familiares, a mi amigos, a los profesores y a la Universidad  
del Cauca*

*MARGARITA*

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	13
INTRODUCCIÓN.....	14
1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR .....	15
1.1 MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM) .....	15
1.2 MODELOS CIM.....	15
1.2.1 Modelo CIM de IBM.....	16
1.2.2 Modelo jerárquico NIST-AMRF .....	16
1.2.3 Concepto CIM de “Digital Equipment Corporation” .....	16
1.2.4 Modelo Amherst-Karlsruhe.....	17
1.2.5 Modelo CIM de Siemens .....	17
1.2.6 Modelo Siemens – FIET .....	17
1.2.7 Elección del Modelo que utilizar .....	17
1.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO SIEMENS - FIET .....	18
1.4 MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAM) .....	20
1.5 CONTROL DE FABRICACIÓN .....	22
2. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y DE INTERFACES DEL CONTROL DE FABRICACIÓN .....	23
2.1. BLOQUE FUNCIONAL DE CONTROL DE FABRICACIÓN DEL MODELO SIEMENS – FIET .....	25
2.2 FLUJOS DE INFORMACIÓN DESDE Y HACIA CONTROL DE FABRICACIÓN....	32
2.3 DIAGRAMA DE RELACIONES ENTRE FUNCIONES DE CONTROL DE FABRICACIÓN Y LOS DEMÁS ÁMBITOS FUNCIONALES .....	34
2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN.....	39
2.4.1 Aceptación y administración de las órdenes de fabricación.....	39
2.4.2 Lanzamiento de las órdenes de fabricación.....	42
2.4.3 Lanzamiento de las órdenes de flujo de materiales .....	44
2.4.4 Supervisión de taller .....	44
3. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ENFOQUES PARA EL DISEÑO DEL MODELO DINÁMICO.....	54
3.1 SISTEMAS MULTIAGENTE VS SISTEMAS HOLÓNICOS.....	54
3.2 SISTEMAS MULTIAGENTE .....	55

3.3 SISTEMAS MULTIAGENTE: APROXIMACIÓN PARA MODELAR SISTEMAS DE FABRICACIÓN.....	60
3.3.1 Aproximaciones basadas en agente para modelar empresas de fabricación ...	60
3.4 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA QUE UTILIZAR .....	61
3.5 METODOLOGÍA INGENIAS .....	63
3.5.1 Nomenclatura .....	64
3.5.2 Entidades básicas .....	64
3.5.3 Notación .....	65
3.5.4 META-MODELOS DEL SISTEMA MULTI AGENTE .....	67
3.5.4.1 Meta-modelo de agente .....	67
3.5.4.2 Meta-modelo de tareas y objetivos .....	68
3.5.4.3 Meta-modelo de organización.....	69
3.5.4.4 Meta-modelo de interacción.....	69
3.5.4.5 Meta-modelo de entorno .....	70
4. MODELO DINÁMICO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA INGENIAS PARA SISTEMAS MULTIAGENTES.....	71
4.1 CASOS DE USO .....	71
4.2 MODELO DE AGENTE .....	75
4.3 MODELO DE OBJETIVOS Y TAREAS .....	81
4.4 MODELO DE ORGANIZACIÓN.....	88
4.5 MODELO DE INTERACCIONES.....	95
4.6 MODELO DE ENTORNO .....	99
5. APLICACIÓN DEL MODELO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.....	102
5.1 MODELO ESTRUCTURAL APLICADO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO...	102
5.2 MODELO DINÁMICO APLICADO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.....	108
5.2.1 Modelo de agente .....	108
5.2.2 Modelo de objetivos y tareas .....	108
5.2.3 Modelo de organización .....	111
5.2.4 Modelo de interacción .....	111
5.2.5 Modelo de entorno .....	111
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ACTORES IDENTIFICADOS DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO .....	111
6. CONCLUSIONES.....	115
TRABAJOS FUTUROS .....	116
BIBLIOGRAFÍA .....	117

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Ámbitos funcionales del modelo SIEMENS – FIET.....	18
Figura 2: Integración total de la empresa.....	20
Figura 3: Información de entrada a la función control de fabricación.....	34
Figura 4: Propagación de las órdenes al nivel de dirección de proceso.....	35
Figura 5: Reporte de datos y estado del nivel de dirección de proceso.....	36
Figura 6: Retroalimentación entre las funciones del control de fabricación.....	37
Figura 7: Informes de producción y proceso al nivel de dirección de taller.....	38
Figura 8: Diagrama final del flujo de información dentro de la función Control De Fabricación.....	38
Figura 9: Proceso de aceptación y administración de una orden.....	41
Figura 10: Proceso de lanzamiento de órdenes de fabricación.....	43
Figura 11: Proceso de lanzamiento de órdenes de flujo de materiales.....	45
Figura 12: Proceso de control de capacidad.....	46
Figura 13: Tratamiento de notas de corrección.....	48
Figura 14: Tratamiento de datos de costo.....	49
Figura 15: Tratamiento de datos de proceso.....	50
Figura 16: Reporte de datos al nivel de dirección de taller.....	52
Figura 17: Diagrama de conexión de los flujos de información entre los distintos ámbitos. .....	53
Figura 18: Relación entre los meta-modelos de INGENIAS.....	64
Figura 19: Entidades básicas de la metodología.....	65
Figura 20: Diagrama del modelo de agente.....	68
Figura 21: Elementos de definición de tareas.....	68
Figura 22: Descripción estructural.....	69
Figura 23: Casos de uso asociados al Control de Fabricación.....	74
Figura 24: Agente administrador de la orden.....	76
Figura 25: Agente emisor de la orden de fabricación.....	77
Figura 26: Agente emisor de la orden de materiales.....	77
Figura 27: Agente supervisor de taller.....	78
Figura 28: Agente Comunicador.....	79
Figura 29: Estados mentales para el objetivo aceptar la orden.....	81
Figura 30: Descomposición del objetivo administrar la orden de trabajo.....	85
Figura 32: Objetivos aceptar la orden y modificar-anular la orden asociados a tareas.....	86
Figura 32: Roles del agente administrador de la orden asociados a objetivos.....	86
Figura 33: Identificación de las tareas con ayuda del diagrama de flujo.....	87
Figura 34: Modelo de organización del modelo SIEMENS – FIET.....	89
Figura 35: Diagrama de flujo de control de fabricación para la identificación de los flujos.....	90
Figura 36: Descomposición del flujo aceptar la orden de trabajo en tareas.....	91
Figura 37: Flujo de trabajo aceptación de la orden de trabajo.....	92
Figura 38: Asociación de interacción y los roles a las tareas del flujo aceptar la orden de trabajo.....	93
Figura 39: Descomposición del flujo reporte a nivel de dirección de taller.....	93
Figura 40: Flujo de trabajo reporte a nivel de dirección de taller.....	94
Figura 41: Asociación de roles a tareas del flujo reporte a nivel de dirección de taller.....	94
Figura 42: Asociación de tarea a interacciones del flujo reporte a nivel de dirección de taller.....	95



Figura 43: Interacción aceptación de la orden. ....	96
Figura 44: Especificación GRASIA de la interacción aceptación de la orden. ....	97
Figura 45: Interacción datos para el reporte a nivel de taller. ....	98
Figura 46: Especificación GRASIA Interacción datos para el reporte a nivel de taller. ....	98
Figura 47: Aplicaciones externas asociadas al grupo control de fabricación. ....	99
Figura 48: Aplicaciones internas asociadas a los agentes. ....	100
Figura 49: Aplicaciones asociadas a Agente administrador de la orden. ....	101
Figura 50: Diagrama de flujo aplicado a la empresa caso de estudio. ....	107
Figura 52: Representación de la evolución de los agentes, roles y objetivos de la empresa caso de estudio. ....	110

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Niveles superiores del ámbito CAM. ....	21
Tabla 2: Bloque funcional Control de fabricación. ....	26
Tabla 3: Flujos de información Control de Fabricación. ....	32
Tabla 4: Convención de colores para el diagrama de flujo. ....	39
Tabla 5: Descripción de los sistemas multiagentes.....	57
Tabla 6: Notación metodología INGENIAS. ....	65
Tabla 7: Casos de uso asociados a funciones. ....	71
Tabla 8. Casos de uso asociados a las precondiciones y poscondiciones. ....	72
Tabla 9: Objetivos y tareas asociados a subfunciones del modelo SIEMENS- FIET.....	82
Tabla 10: Relación del modelo Siemens - FIET con la empresa caso de estudio. ....	103
Tabla 11: Relación modelo dinámico y la empresa caso de estudio.....	109

## **LISTA DE ANEXOS**

**ANEXO A:** DIAGRAMA DE CONEXIÓN ENTRE ÁMBITOS.

**ANEXO B:** DESCRIPCIÓN DE LOS DIAGRAMAS DEL MODELADO DINÁMICO CON SISTEMAS MULTIAGENTES.

**ANEXO C:** DIAGRAMA DE FLUJO DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.

**ANEXO D:** DOCUMENTACIÓN SOBRE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>CIM</b>	Computer Integrated Manufacturing
<b>CAM</b>	Manufactura asistida por computador
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computadora
<b>CAE</b>	Ingeniería asistida por computadora
<b>ISA</b>	International society of automation
<b>FIET</b>	Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
<b>NIST</b>	National Institute of standards and technology
<b>AMRF</b>	Advanced Manufacturing Research Facility
<b>DEC</b>	Digital Equipment Corporation
<b>ICAM</b>	Integrated Computer Aided Manufacturing
<b>NBS</b>	National Business School
<b>CIMOSA</b>	Open System architecture for Computer Integrated Manufacturing
<b>PERA</b>	Purdue Enterprise Reference Architecture
<b>ARIS</b>	Architecture of Integrated Information Systems
<b>PE</b>	Planificación de la Empresa
<b>PPC</b>	Planificación y Control de la Producción
<b>CAP</b>	Planificación Asistida por Computador
<b>CAQ</b>	Calidad Asistida por Computadora
<b>CI</b>	Contabilidad industrial
<b>PDA</b>	Tratamiento de datos de taller
<b>MDA</b>	Obtención de datos de máquina
<b>CT</b>	Centro de trabajo
<b>HS</b>	sistemas holónicos
<b>SMA</b>	sistemas multiagente
<b>IA</b>	Inteligencia Artificial
<b>ACL</b>	Agent Communication Language
<b>KQML</b>	Knowledge Query and Manipulation Language
<b>FIPA</b>	Foundation for Intelligent Physical Agents
<b>Arcol</b>	ARtimis Communication Language.
<b>BDI</b>	creencias, el deseo y la intención
<b>MaSE</b>	(Multi-agent systems Software Engineering
<b>UML</b>	Lenguaje Unificado de Modelado
<b>XML</b>	Lenguaje extensible de Modelado
<b>HTML</b>	Lenguaje de Mercado de Hipertexto
<b>GRASIA</b>	Grupo de Agentes Software: Ingeniería y Aplicaciones
<b>RUP</b>	Rational Unified Process
<b>IDK</b>	Ingenias Development Kit
<b>ILC</b>	Industria Licorera del Cauca

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación modela la función de Control de Fabricación del proceso de manufactura tomando como referencia el modelo Siemens - FIET, generando una estructura interna dinámica además del establecimiento de los flujos de información para comunicar e integrar la función con los procesos de planeación, procesos de programación y sistemas de calidad.

Antes de afrontar la generación del modelo dinámico se inició con una definición concreta de la función, con la cual se partió para la concepción del modelo, llegando a definir que es el control de fabricación, también llamado planificación y control a muy corto plazo; permite programar, ejecutar y controlar las operaciones necesarias para la consecución de una orden de trabajo. La programación implica la secuencia de trabajo, asignación a los centros de trabajo, la programación y el control de la capacidad; la ejecución de una orden de fabricación abarca desde su aceptación, administración, lanzamiento y la gestión de la lista de materiales hasta la supervisión de dicha orden, es decir, partiendo de los objetivos y planes estratégicos a largo plazo, la elaboración de los planes agregados, el plan maestro de producción y de los respectivos planes de capacidad (capacidad a mediano y corto plazo) hasta el desarrollo de las actividades de ejecución y control.

Para modelar la dinámica se utilizó la integración de las funciones a través de un sistema multiagente, basándose en la metodología INGENIAS. Donde cada agente se tomó como las funciones del control de fabricación y es el encargado de ejecutar sus diversas subfunciones, además de coordinar sus acciones con los otros agentes. Para integrar los flujos de información establecidos por Control de Fabricación y realizar la comunicación entre los diferentes niveles de gestión se consideró crear dentro del sistema multiagente propuesto un agente comunicador que es el encargado de realizar la conexión entre los diferentes niveles empresariales para intercambiar toda la información necesaria lo que significa que cada unidad de la organización tendrá acceso a la información relevante para sus tareas y transmitirá sus acciones que influirán en otras partes de la organización permitiéndole con ello participar en las decisiones que optimicen los objetivos de la empresa.

Finalmente tomando como referencia el modelo dinámico establecido a través de la identificación e integración de los flujos de información, se procedió a representar la función de Control de Fabricación del proceso de manufactura en Industria Licorera del Cauca.

## INTRODUCCIÓN

Cada vez más, los mecanismos de controles secuenciales y centralizados tradicionales no son suficientemente flexibles para responder a los nuevos estilos de producción que cambian continuamente y a las variaciones que se producen continuamente en los requerimientos del producto. Las aproximaciones tradicionales no permiten una fácil extensión y reconfiguración de los sistemas de fabricación. Por ello, las industrias necesitan integrar todas sus actividades para poder competir de forma efectiva en los mercados actuales; los fabricantes requieren interactuar con sus clientes, proveedores y servicios de forma rápida y económica, con lo que la tecnología de sistemas inteligentes de fabricación se presenta como una forma natural de superar tales problemas.

La planificación y el control de procesos de fabricación son tareas clave para conseguir la automatización deseada a nivel de manufactura. Los grandes avances en esta área se han dado por la integración de CAD/CAM/CAE que ha utilizado tecnologías que automatizan ciertas tareas del ciclo del producto que determinan de forma detallada la secuencia de pasos requeridos para fabricar, a través del uso cooperativo de herramientas de diseño y de fabricación; pero solo se ha dado para integrar los procesos de CAD y CAM, desconociendo la relación de los procesos de manufactura con otras funciones de la empresa. Además existen sistemas y normas que modelan los procesos de manera estática a través de la identificación de los flujos de información.

El grupo de investigación en Automática Industrial de la Universidad del Cauca, en sus investigaciones sobre modelos de integración empresarial, desarrolló el Modelo Siemens - FIET que es el resultado de la adecuación del Modelo CIM de Siemens y las Normas ISA, ambos considerados técnicas para la integración empresarial.

El presente trabajo busca modelar dinámicamente el proceso de control de fabricación dentro del contexto de manufactura tomando como referencia el modelo Siemens - FIET, mediante una herramienta que permitan generar ese modelado, de tal manera que se integre la información y se represente la evolución de la función y la interoperabilidad entre los distintos ámbitos de la empresa.

# 1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR

## 1.1 MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADOR (CIM)

Desde hace décadas y especialmente en la última, las empresas manufactureras han debido modificar su estructura y su forma de desarrollar sus distintos procesos, tanto de planificación como de producción, para poder hacer frente a la competencia y atender de mejor manera las necesidades del mercado. En el sector manufacturero se debe contar con los sistemas de información adecuados que integren la información de las distintas áreas de la empresa y le permitan funcionar como un sistema integrado de negocios.

La integración de los diferentes elementos que constituyen un sistema de producción es llevada a cabo a través de lo que se conoce como CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). CIM puede ser visto como un acercamiento consistente y coherente hacia el funcionamiento y la operación del negocio empresarial. Es la integración del negocio y las actividades manufactureras, usando sistemas de computación y comunicación [1].

Bajo el nombre de CIM se engloba a un conjunto de aplicaciones informáticas cuyo objetivo es automatizar las diferentes actividades de una empresa industrial, desde el diseño de productos hasta su entrega al cliente y posterior servicio; se debe tener en cuenta que el objetivo de los sistemas CIM es tratar de integrar las distintas áreas funcionales de una organización productora de bienes a través de flujos de materiales e información, mediante la automatización y coordinación de sus distintas actividades, utilizando el soporte de plataformas de "hardware", "software" y de comunicación.

Algunas de las consideraciones importantes sobre la rentabilidad de CIM pueden ser algunos factores cuantificables como ciclos más breves, menor inmovilización de capital, al reducirse las existencias de almacén y obras en curso, mayor calidad y mayor eficiencia en la producción. Así mismo, pueden tenerse otros beneficios o factores no cuantificables, tales como reacción más rápida a las variaciones del mercado, mayor coordinación con los proveedores, mayor flexibilidad ante la modificación de pedidos, mayores posibilidades de suministro y cumplimiento de los plazos, entre otros [1].

## 1.2 MODELOS CIM

Algunas empresas reconociendo el potencial del concepto CIM decidieron crear sus propios modelos que hoy en día son considerados como clásicos, entre ellos se tienen los modelos: IBM, NIST, DEC, Siemens, Esprit, Amherst- Karlsruhe, Modelo Siemens-FIET. Por otra parte es importante mencionar también las arquitecturas más reconocidas tales como: ICAM, ICAM-I, NBS, CIMOSA, GRAI, PERA, ARIS, MMCS, las cuales son formalismos de modelado y/o metodologías para el diseño de sistemas CIM [2].

A continuación es importante definir cuál es la diferencia que existe entre arquitectura y modelo para decidir que enfoque se debe seguir.

- Modelo. Es una representación simplificada de un sistema o estructura compleja y recoge las funciones esenciales, su contenido y los límites entre los elementos del sistema [3].
- Arquitectura. Es el resultado final del proceso de evolución desde el modelo a la definición detallada de las relaciones, disposición y conexión de las funciones. La arquitectura es independiente de las tecnologías, así que se pueden realizar múltiples implantaciones de una arquitectura [3].

Por lo cual se opta por la elección del modelo ya que siguiendo el modelo de sistemas, se intenta comprender el sistema en conjunto y dividirlo en subsistemas más pequeños y manejables. Se definen las entradas y salidas de cada subsistema (interfaz) y cómo debe reaccionar ante las entradas de los usuarios.

Algunos modelos CIM existentes son [1]:

### **1.2.1 Modelo CIM de IBM**

El modelo IBM fue presentado en los Estados Unidos en 1973; se consideró como pionero en el campo del CIM aunque no era un modelo CIM general. Comenzó con el desarrollo de COPICS (communication-oriented production information and control system) y promocionaba sus propias soluciones a nivel hardware y software. Este modelo propone un esquema general de operaciones básicas en la etapa de planificación, que se deben realizar en cada una de las etapas de ejecución de los planes maestro, operativo y de ejecución en el modelo CIM. Como cabe esperar de una empresa como IBM se observa que las operaciones consideradas preferentemente son aquellas que implican un mayor flujo de información y un mayor control informático [4].

### **1.2.2 Modelo jerárquico NIST-AMRF**

Este modelo fue propuesto en los Estados Unidos en 1981 por NIST (National Institute of standards and technology) y comenzó con el desarrollo de AMRF (Advanced Manufacturing Research Facility). Posee una estructura jerárquica y transparente de planificación y control, separando las funciones de dirección, planificación y control. Este modelo CIM de NIST-AMRF puede ser representado gráficamente donde se puede apreciar el especial énfasis que se hace en la producción [4].

### **1.2.3 Concepto CIM de “Digital Equipment Corporation”**

El modelo fue presentado en los Estados Unidos en 1988, el cual pretende mejorar un proceso de fabricación con la ayuda de computadores y la integración de procesamiento de la información presente en todas las actividades de la empresa.

El modelo supone que CIM es un enfoque orientado a la empresa para la automatización de un sistema informático de control jerárquico y debe ser adaptado a las necesidades específicas de la fábrica. Los objetivos de este modelo consisten en definir un sistema de fabricación integrada por computador con presentación de documentos constantes para facilitar la planificación e implementación de sistemas CIM distribuidos, heterogéneos y abiertos. Con este enfoque, el sistema de control se divide en módulos funcionales que reflejan la empresa y sus datos. El diseñador de un sistema CIM comienza con una



revisión de todas las actividades de fabricación e identifica sus funciones y el flujo de datos; con esta información, se puede llegar a la distribución del sistema físico [4].

#### **1.2.4 Modelo Amherst-Karlsruhe**

Este modelo describe las técnicas para la realización de la fabricación; este fue presentado en Alemania en 1989. Se supone que las órdenes fueron introducidas en el sistema y que todos los recursos están disponibles para planificar y controlar la planta. El concepto tiene varias capas que representan las actividades de fabricación. La primera capa contiene las funciones de ingeniería y diseño, donde se diseña el producto. Los resultados de esta actividad son los dibujos y la lista de materiales. La segunda capa es el proceso de planificación, que se obtienen por el proceso de los planes para la fabricación, montaje y pruebas. Los planes de proceso, junto con los planos, lista de materiales y la puesta en marcha del proceso, se introducen en la programación [4].

#### **1.2.5 Modelo CIM de Siemens**

Algunas características del Modelo CIM de SIEMENS son:

- Identifica un conjunto que consta de nueve funciones principales de un ambiente CIM, tales como: CAD (Diseño asistido por computador), CAM (Manufactura asistida por computador), CAP (Planificación asistida por computador), PPC (Planificación y control de la producción) y CAQ (Calidad asistida por computador), a las que es preciso integrar.
- Distingue el ambiente CIM del ambiente CAO (Computer-Aided Organization), donde se tratan aspectos meramente administrativos. Modela la interacción entre CIM y CAO.
- Introduce los conceptos de integración vertical y horizontal de información.
- Plantea el concepto de logística de la información: “Es necesario contar con la información correcta, en cantidad y calidad adecuada a las necesidades, en el momento preciso y en el lugar adecuado” [4].

#### **1.2.6 Modelo Siemens - FIET**

Este modelo es el resultado del proyecto de grado titulado “Adecuación del Modelo CIM de Siemens a las Normas ISA s88 e ISA s95 con aplicación ilustrativa a un caso de estudio”; su desarrollo teórico tuvo pertinencia dentro del grupo de investigación en Automática Industrial de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, presentado en el año 2007 [2].

#### **1.2.7 Elección del Modelo que utilizar**

Para el desarrollo de este trabajo de grado se toma como referencia el modelo Siemens - FIET dado que fue desarrollado por el grupo de de investigación en Automática Industrial y es más actual que los modelos anteriormente mencionados; asimismo se tiene en cuenta que se trata de un modelo bastante completo, puesto que éste se basa en el modelo CIM de Siemens que fue desarrollado por un grupo de ingenieros de ésta empresa, con gran incursión en una variedad de campos relacionados con la gestión y la producción; además abarca las normas ISA s88 e ISA s95 referentes al control por lotes y

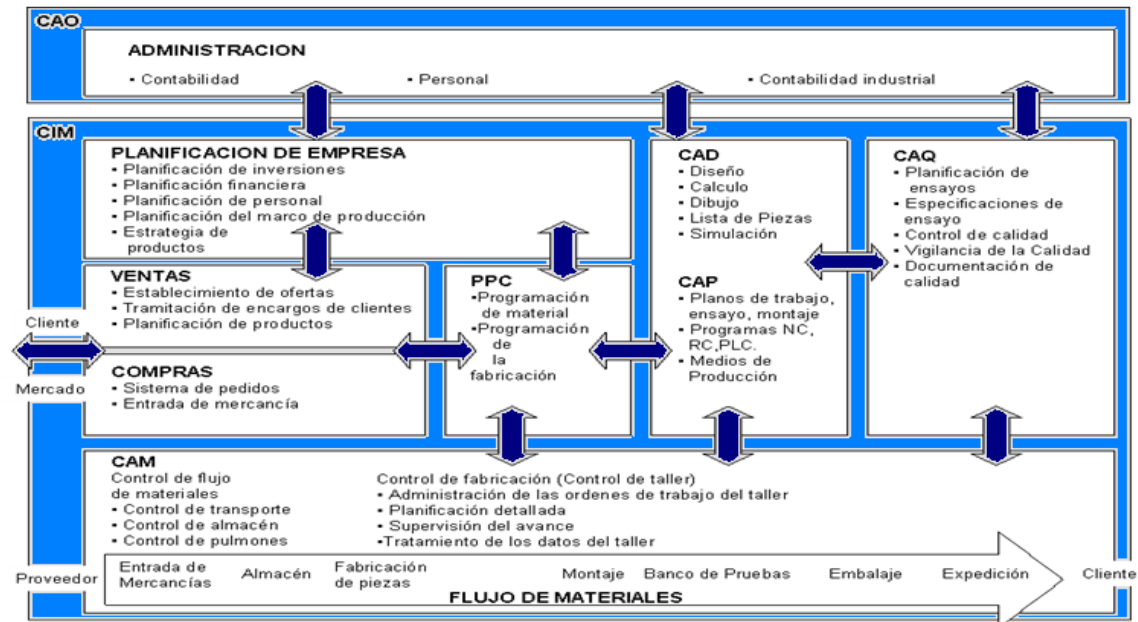
Control de Empresa respectivamente [3]; este modelo presenta un nivel detallado en los flujos de información garantizando la integración de las diferentes áreas de la empresa.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO SIEMENS - FIET

Este modelo fue desarrollado en el proyecto de grado [2] que consistió en encontrar una metodología que permitiera adaptar el modelo para Manufactura Integrada por Computador (CIM) de Siemens al estándar ISA s88 e ISA s95, a este nuevo modelo se le ha denominado 'Modelo Siemens -FIET'. Este modelo recoge una serie de elementos de análisis comparativo entre las actividades, funciones y flujo de información referenciadas por las normas y los diferentes ámbitos funcionales del modelo CIM de Siemens con su respectivo intercambio de información, con el fin de obtener un modelo CIM de Siemens adecuado, que cumpla con las normas mencionadas; además contempla todas las consideraciones que se hallan en el mencionado estándar y provee los modelos y terminologías para la definición de interfaces entre el sistema de negocios y el sistema de control de manufactura [5].

En la Figura 1 se muestran los diferentes ámbitos funcionales en una empresa, como se conciben en el modelo CIM de Siemens [1].

Figura 1: Ámbitos funcionales del modelo SIEMENS – FIET.



Fuente: CIM Consideraciones básicas, 1991.

En el Modelo Siemens – FIET se tienen los mismos ámbitos funcionales que el modelo CIM de SIEMENS entre las cuales se encuentran divididos en [2]:

- El nivel de dirección de empresa que contiene a PE (Planificación de la Empresa).
- EL nivel de dirección de taller que contiene a CAD (diseño asistido por computador), PPC (Planificación y Control de la Producción), CAP (Planificación Asistida por

Computador), CAQ (Calidad Asistida por Computadora), CI (Contabilidad industrial), ventas y compras.

- El nivel de dirección de producción (que contiene al ámbito de control de fabricación) y el nivel de dirección de proceso (se encuentran los sub-ámbitos de fabricación de piezas, banco de pruebas, embalaje, almacén, transporte, conservación, entrada de mercancías y expedición) que contiene a CAM (manufactura asistida por computador).

A continuación se presenta una descripción general de los ámbitos funcionales del modelo.

**Planificación de la Empresa (PE):** Este ámbito, a través del análisis de las condiciones marginales específicas del mercado, deduce y pronostica el futuro desarrollo y orientación de la empresa; a partir de estos pronósticos, se formulan objetivos y se deducen las medidas necesarias para alcanzarlos.

**Ventas:** representa la Interfaz entre la empresa y el cliente o el mercado de ventas. Basándose en los análisis de mercado, la sección de ventas promueve los desarrollos o modificaciones de los productos.

**Compras:** la sección centralizada que resuelve los problemas de suministro, asegurando por una parte el abastecimiento a costos mínimos y aprovechando por otra parte todas las oportunidades del mercado para lograr el máximo beneficio.

**Contabilidad industrial (CI):** engloba todas las funciones que sirven para determinar y vigilar los caudales monetarios y de servicio que se producen en el taller, tanto en cantidad como en valor; también sirve para controlar la rentabilidad de los procesos que tienen lugar en el taller, facilitando a la dirección de la empresa la documentación necesaria para futuras planificaciones.

**Planificación y Control de la Producción (PPC):** designa la utilización de sistemas informáticos para organizar la producción, realizar el control y el seguimiento de las distintas fases de producción. Las funciones principales son: la planificación de la producción, de las cantidades, la programación de materiales, de los plazos y la capacidad necesaria para cumplir los pedidos. También abarca la programación, compras y administración de inventarios, así como el seguimiento de las órdenes.

**Diseño Asistido por Computadora (CAD):** Es un concepto global que resume todas las actividades que directa o indirectamente emplean recursos informáticos dentro del marco de las actividades de desarrollo y diseño. En un sentido más estricto, esto se refiere a la generación gráfica interactiva y de manipulación de una representación digital de un objeto, mediante la preparación de un dibujo bidimensional o mediante la creación de un modelo tridimensional.

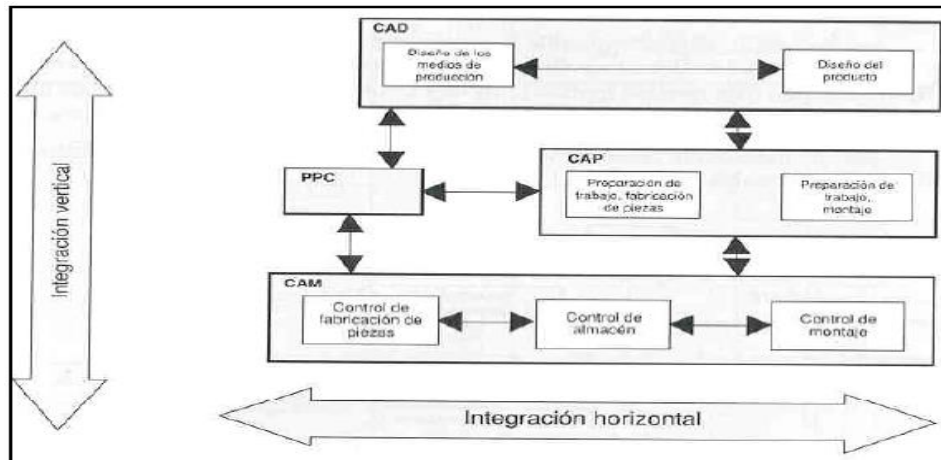
**Planificación Asistida por Computadora (CAP):** es la designación de la informatización aplicada a la preparación de los planes y procesos de trabajo. Se trata de una planificación basada en los trabajos de diseño convencional o establecido mediante CAD, para obtener datos relativos a las instrucciones de fabricación de piezas y montajes.

**Manufactura Asistida por Computadora (CAM):** ésta consiste en la asistencia de los sistemas informáticos, a nivel de planta, en la adquisición de datos, en la gestión y el control de las instalaciones de proceso, de los recursos (equipos, servicios, transportes), del almacén, en la supervisión de las líneas, en el mantenimiento de equipos, diagnóstico, etc.

**Calidad Asistida por Computadora (CAQ):** Abarca todas las funciones que aseguren y mantengan la calidad del producto. Involucra específicamente la determinación de las características de calidad, la preparación de los procesos de verificación, programas de ensayo y determinación de valores de control, así como la planificación de los programas, supervisión y verificación. Asimismo, incluye la realización de estudios estadísticos y la generación de documentación.

La interacción de los ámbitos permite la integración de la empresa de una forma vertical y horizontal, según se muestra en la Figura 2.

Figura 2: Integración total de la empresa.



Fuente: CIM Consideraciones básicas, 1991.

Dado que el propósito de este proyecto es el modelado de la función de control de fabricación del proceso de manufactura, es necesario definir como primera medida el ámbito CAM (manufactura asistida por computador) ya que define procesos tales como el control de flujo de la materia prima, el control de fabricación, conservación, control de las instalaciones de producción, diagnóstico, reparación y mantenimiento. Posteriormente se define el control de fabricación ya que este proyecto busca una estructura interna dinámica además de la integración con los procesos de planeación, procesos de programación y sistemas de calidad.

#### 1.4 MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADOR (CAM)

Se denomina CAM al control y supervisión técnicas asistidas por computador de los medios de producción empleados en la fabricación de los objetos. Esto se refiere al control directo de las instalaciones del proceso, medios de producción, equipos de manipulación y sistemas de transporte y almacén.

El ámbito de CAM se encuentra en el ámbito operativo y logístico de producción de una empresa. Abarca todos los cometidos que pueden describirse utilizando los conceptos de fabricación, flujo de materiales y conservación como lo que incluye la automatización de todos los campos próximos a la producción desde la entrada de mercancías, almacén, fabricación de piezas y montaje hasta las secciones de verificación y expedición.

El ámbito de CAM puede dividirse en cuatro niveles. Las funciones más importantes de los tres niveles superiores se recogen en la Tabla 1. El cuarto nivel (nivel de proceso) es el nivel de interfaz entre la electrónica y la mecánica; está formado por actuadores (motores, contactores magnéticos,...) y sensores [1].

Tabla 1: Niveles superiores del ámbito CAM.

Nivel de dirección de producción (funciones logísticas)	Nivel de dirección de proceso (funciones operativas)	Nivel de control de proceso
Planificación, control de disponibilidad y reserva de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquinas</li> <li>• Herramientas</li> <li>• Materiales</li> <li>• Personal</li> <li>• Medios de transporte</li> </ul> Tratamiento de datos de taller (PDA).	Distribución de las órdenes de trabajo entre las distintas máquinas y puestos de trabajo.  Seguimiento del avance.  Lanzamiento de materiales, abastecimiento de máquinas.  Activación de transporte.  Tratamiento previo de datos de taller.  Supervisión de células.  Diagnóstico.	Control de los sistemas de mecanizado y transporte.  Supervisión de máquinas.  Obtención de datos de taller (PDA).  Obtención de datos de máquina (MDA).  Diagnóstico.

Fuente: CIM Consideraciones básicas, 1991.

**PDA** (Obtención de datos del taller): tiene la función de recopilar todos los datos reales de organización del taller necesarios y ponerlos a disposición del control de fabricación en forma resumida y adecuada para su tratamiento. Para el control de fabricación es importante disponer en todo momento de datos actualizados referidos a órdenes de trabajo como máquinas y materiales (control de avance de las órdenes de trabajo).

**MDA** (Obtención de los datos de máquina): mediante la obtención automática de los datos técnicos de situación de máquinas, el control de fabricación y el mantenimiento se encuentran en condiciones de detectar a tiempo las averías, iniciar las medidas correspondientes y evitar de esta manera tiempos de parada más importantes. Con los datos obtenidos se puede determinar el tiempo productivo de utilización de un puesto de trabajo.

## 1.5 CONTROL DE FABRICACIÓN

Finalmente se define la función de control de fabricación ya que ésta será el objeto del modelado propósito de este trabajo de grado.

Como se mencionó anteriormente, el control de fabricación constituye el núcleo organizativo del ámbito de producción (CAM), dentro del nivel de dirección de producción, que controla y supervisa el nivel de dirección de proceso en el cual se encuentran los sub-ámbitos de fabricación de piezas, banco de pruebas, embalaje, transporte, almacén y conservación.

Esta función se define como el control a muy corto plazo y la supervisión de la fabricación, es decir, la asignación actual de las órdenes lanzadas por PPC a las distintas células de fabricación y máquinas, teniendo en cuenta las perturbaciones imprevisibles [1].

Además, mantiene, actualiza y proporciona información detallada a tiempo real para el nivel de dirección de taller. Mantiene informados al personal de producción acerca de la situación de la fabricación, con la posibilidad de consultar en línea ya sea a través del identificador de la fórmula o del producto terminado. Registra el consumo de materia prima en la producción o permite el consumo automático de materias primas, de acuerdo con la formulación estándar del producto. Además, permite determinar si se tiene escasez de los materiales empleados en una fórmula en particular y permite determinar cuánto puede producirse con la capacidad disponible.

Beneficios de un correcto uso de control de fabricación:

- Balance de planta: mediante los análisis de producción y el control exacto de cada orden es posible identificar operaciones problema, necesidades de personal y maquinaria.
- Maximización del rendimiento: mediante la utilización de controles diarios de eficiencia.
- Reporte de datos en tiempo real.
- Control de capacidad.
- Supervisión de la producción.

Además, el control de fabricación maneja información vital que es utilizada por los niveles de dirección de taller y dirección de proceso. Por ejemplo, la integración con el departamento de contabilidad asegura que el trabajo en proceso sea actualizado continuamente al registrar los materiales, mano de obra y recursos, a su respectiva orden de trabajo y sea reflejada automáticamente en los estados financieros parciales o de fin de mes.

El nivel de dirección de taller puede usar este control para dar seguimiento al estado de las órdenes de trabajo comparando la fecha programada contra la fecha real de terminación por orden y por etapa, las cantidades de inicio, desperdicio y terminación, etc.

## 2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL Y DE INTERFACES DEL CONTROL DE FABRICACIÓN

Hasta el momento no se conocen modelos que integren la función de control de fabricación ni mucho menos se ha realizado un modelado dinámico que la represente, siendo esto muy importante debido que esta función juega un papel primordial en una empresa ya que realiza el lanzamiento de las órdenes de fabricación y de flujo de materiales, además de una supervisión del ámbito de fabricación. Para la generación, conservación, tratamiento y transmisión de la información a todos los niveles de la empresa es necesario empezar realizando el análisis y diseño de la estructura interna de la función en la cual se muestra el comportamiento de la información dentro de un componente o entre componentes del sistema pero sin representar cómo es la evolución en el tiempo, dónde se parte con las definiciones que relacionan ciertas variables o parámetros, dónde una salida de proceso es singularmente determinada por una entrada dada.

Antes de empezar a generar la estructura interna de la función se debe comprender de forma más clara y precisa lo que es el control de fabricación, el cual constituye la última fase del proceso de planificación y control de la producción. El punto de partida de esta fase suele ser el plan de materiales (o el plan maestro de producción); éste se encarga de planificar partes o productos que tienen una gran influencia en los beneficios de la empresa o que asumen recursos críticos y que, por tanto, deben planificarse con especial atención; a partir del cual se ha de:

- Programar el conjunto de operaciones necesarias para su consecución
- Ejecutar dichas actividades
- Controlar el funcionamiento diario en sus aspectos (operaciones, pedidos, capacidad,...).

Todo esto implica un amplio abanico de actividades o funcionamientos que, además, han de llevarse a cabo de manera continua, por lo que consumen gran cantidad de tiempo y recursos de la empresa.

Al encontrarse ya planificado al mayor nivel de detalle posible, es obvio que el tipo de configuración y las peculiaridades del sistema productivo de la empresa tendrán un impacto significativo sobre la forma de llevar a cabo la programación de las operaciones. Es por lo que existen multitud de situaciones distintas y también gran cantidad de herramientas y técnicas diferentes. Desde el punto de vista de las configuraciones productivas genéricas, se puede decir que el caso más complejo que se puede presentar es el de las configuraciones por lotes y, dentro de ellas, las denominadas por funciones o Job-shop [6].

Para la ejecución de una orden de fabricación y la obtención de productos se deben pasar por varios niveles del proceso de planificación y control de la producción. Partiendo de los objetivos y planes estratégicos a largo plazo, pasando por la elaboración de los planes agregado (también llamado plan de producción a medio plazo) y maestro de producción y de los respectivos planes de capacidad (Capacidad a mediano y corto plazo), llegando al desarrollo de las actividades de ejecución y control, ya en el último nivel del proceso.

Aunque el plan maestro establece los lotes a obtener de cada ítem y producto final en cada momento, ejecutarlo en las instalaciones productivas no es una tarea simple. Con este plan no es suficiente para que cada responsable o trabajador de un centro de trabajo (CT), conozca las actividades concretas que ha de desarrollar en cada momento para cumplir el mismo.

Por un lado, los pedidos contenidos en el plan de materiales no son independientes, existiendo entre ellos una relación de prioridad que es imprescindible respetar. Por otra parte, las rutas de los ítems pueden pasar por diferentes CT, y aún peor, diferentes pedidos pueden requerir en su ruta operaciones que han de realizarse en las mismas instalaciones.

Para solucionar parte de los inconvenientes mencionados debe tenerse en cuenta algunas consideraciones. Por un lado, la asignación de los trabajos a los centros de trabajos o máquinas y su posterior secuenciación en las mismas están condicionadas por la capacidad disponible de cada uno y por las disponibilidades de materiales en el momento de emisión de los pedidos. Por otro lado, la forma en que se haga conllevará importantes consecuencias, pues ésta influirá en el tiempo total empleado en la realización de los trabajos, en el volumen de la producción en proceso, en la eficiencia, en el costo, en las fechas de terminación de los pedidos establecidos en los planes.

Considerando todo lo anterior, se llega a un programa de operaciones para un horizonte de tiempo de entre horas y días, el cual es imprescindible para que cada trabajador, o cada responsable de una instalación, sepa en cada momento qué ha de hacer para que se logre el plan de materiales y, con ello, el programa maestro, el plan agregado y los planes y objetivos estratégicos de la empresa.

La elaboración del programa de operaciones no es más que una de las funciones que hay que desarrollar en esta fase de ejecución y control. Se hace necesario, pues, controlar los múltiples aspectos de la actividad diaria: cantidad de productos realmente obtenidos tras las operaciones (y, con ello el control de los defectuosos), la eficiencia y la utilización de los CT (básicos para medir la capacidad), las fechas de entrega, los tiempos de suministro, la evolución de las colas de espera y, con ellas, la adecuación de las capacidades y cargas planificadas, etc. Sólo así será posible detectar las divergencias significativas entre los valores planificados y los reales, con base en las cuales se adoptarían las medidas correctivas necesarias, que se retroalimentarán a los distintos niveles del sistema [7].

La supervisión y control en el taller realizan estas actividades e informan de los resultados, de manera que se puedan tomar acciones correctivas cuando las órdenes vayan a retrasarse o cuando en los centros de trabajo ocurran problemas de capacidad o carga de trabajo [8].

Todo este conjunto de actividades engloba lo que en la literatura se denomina **Planificación y control a muy corto plazo** y que, para este caso basados en el modelo de CIM, es que lo que se define como **Control de fabricación**. Podría decirse que sus actividades buscan cumplir con objetivos como:



- Establecer las prioridades entre los pedidos o trabajos por desarrollar, ordenándolos por centros de trabajo y asignándolos previamente a cada uno de ellos si fuera preciso, obteniendo así el programa de operaciones.
- Evaluación y control de los pedidos por fabricar del programa maestro, estableciendo los que han de emitirse en cada momento y la información necesaria para su emisión, tras comprobar la disponibilidad de los materiales que necesita.
- Rastrear la evolución de los pedidos en curso a través de los CT, estableciendo la situación de los mismos al final de cada jornada y controlando las cantidades de ítems (las defectuosas obtenidas al final de cada operación), así se elabora el informe de producción diario.
- Controlar el desarrollo de las operaciones en los centros de trabajo, estableciendo los tiempos empleados y desperdiciados.
- Controlar la capacidad de cada CT, mediante la comparación de la carga y la capacidad planificadas con las reales, estableciendo la evolución prevista de la cola de espera y las medidas de ajuste de capacidad necesarias a muy corto plazo para mantenerla en los niveles deseados.
- Proporcionar realimentación al sistema empresarial(al objeto de ajustar la eficiencia y utilización de los CT, su capacidad disponible, los factores de defectuosos de la operaciones, los tiempos de carga, etc), así como a los niveles superiores de planificación de la producción.

Pero en general se deben cumplir estos criterios con el fin de conseguir dos metas fundamentales:

- Mantener el menor volumen de inventarios posibles, tanto de ítems finales y componentes como de trabajo en curso, evitando los aumentos en las colas de espera.
- Emplear la menor cantidad de recursos posible, minimizando los tiempos ociosos de las instalaciones en espera de la llegada de pedidos y los tiempos de preparación entre operaciones, debiendo utilizar, para cada una de ellas, la instalación más eficiente posible.

Lo anteriormente mencionado abarca todo lo que es el control de fabricación, donde el modelo Siemens - FIET lo clasifica en una serie de funciones y subfunciones para una mejor comprensión de cada una de las fases de la función, con lo que es necesario definir a continuación cada una de ellas para complementar el análisis de la funcionalidad interna de este ámbito, lo cual servirá como base para el desarrollo del modelo estructural.

## **2.1 BLOQUE FUNCIONAL DE CONTROL DE FABRICACIÓN DEL MODELO SIEMENS - FIET**

En la Tabla 2 se muestran las funciones y subfunciones correspondientes al bloque funcional de control de fabricación. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de ellas.

Tabla 2: Bloque funcional Control de fabricación.

<b>MODELO SIEMENS – FIET</b>		
<b>BLOQUE FUNCIONAL</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>SUBFUNCIÓN</b>
<b>CAM: Control de Fabricación</b>	<b>1. Administración de órdenes de trabajo</b>	<b>1.1</b> Aceptación y administración de las órdenes de trabajo <b>1.2</b> Modificación de la orden, anulación. <b>1.3</b> Continuación de la orden de trabajo retroaviso <b>1.4</b> Reportar el balance y pérdidas de producto a Contabilidad de costo del producto <b>1.5</b> Reportar el inventario a PPC <b>1.6</b> Reportar datos de la producción y del proceso
	<b>2. Lanzamiento de órdenes de fabricación</b>	<b>2.1</b> Oferta y ocupación de capacidad. <b>2.2</b> Curva de carga y previsión de carga <b>2.3</b> Asignación de órdenes a las diferentes células <b>2.4</b> Planificación de las secuencias de trabajo <b>2.5</b> Corrección de perturbaciones <b>2.6</b> Supervisión de la orden de trabajo <b>2.7</b> Supervisión de la calidad del producto (Piezas buenas, repaso y rechazo)
	<b>3. Lanzamiento de órdenes de flujo de materiales</b>	<b>3.1</b> Administración del material circulante <b>3.2</b> Establecimiento de las distribuciones de transporte <b>3.3</b> Solicitud de material
	<b>4. Supervisión de taller (Supervisión del ámbito de fabricación)</b>	<b>4.1</b> Control de la capacidad de taller <b>4.2</b> Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad (órdenes de fabricación, material y transporte) <b>4.3</b> Tratamiento de avisos de perturbación <b>4.4</b> Llevar cuentas de salarios <b>4.5</b> Activación de trabajos de conservación

Fuente: Adecuación del modelo Siemens a las normas isa s88 e isa s95, 2007.

## CONTROL DE FABRICACIÓN

### Administración de las órdenes de trabajo

Esta función administra órdenes de trabajo, incluida la programación, para todas las órdenes del sistema, identificando las necesidades de materiales y mano de obra, y programando la ejecución de órdenes de trabajo, previamente definidas.

#### Aceptación y administración de las órdenes de trabajo

Para ésta se deben tener en cuenta: los materiales que han de utilizarse y / o los realmente empleados, las máquinas que han de intervenir, la mano de obra necesaria, los planos, croquis o esquemas necesarios, el circuito administrativo o de recorrido de la orden, las fechas de planificación, producción y terminación de los productos fabricados.

#### Modificación de la orden, anulación.

La modificación o anulación de una orden se puede dar de dos maneras: la primera, cuando se presentan inconvenientes relacionados con los materiales, el personal y la maquinaria necesaria para el proceso; la segunda, cuando se envían modificaciones directamente desde planeación.

#### Continuación de la orden de trabajo retroaviso

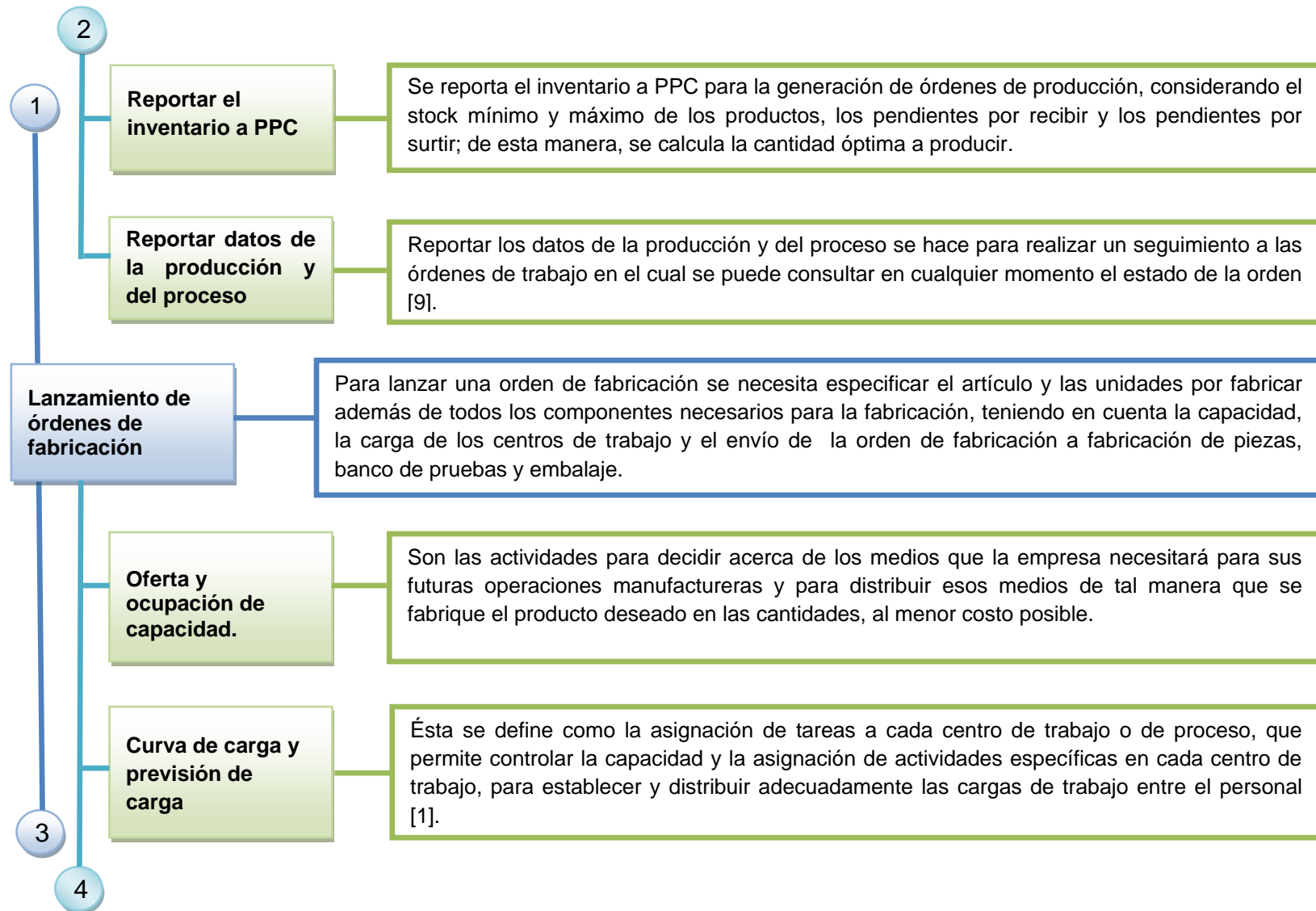
La continuación de una orden de trabajo se da cuando se ha presentado una modificación en dicha orden, liberando nuevamente las órdenes de trabajo para que sea terminada, comunicando mediante el retroaviso que la orden ha sido puesta en marcha nuevamente con las correcciones pertinentes para determinado producto.

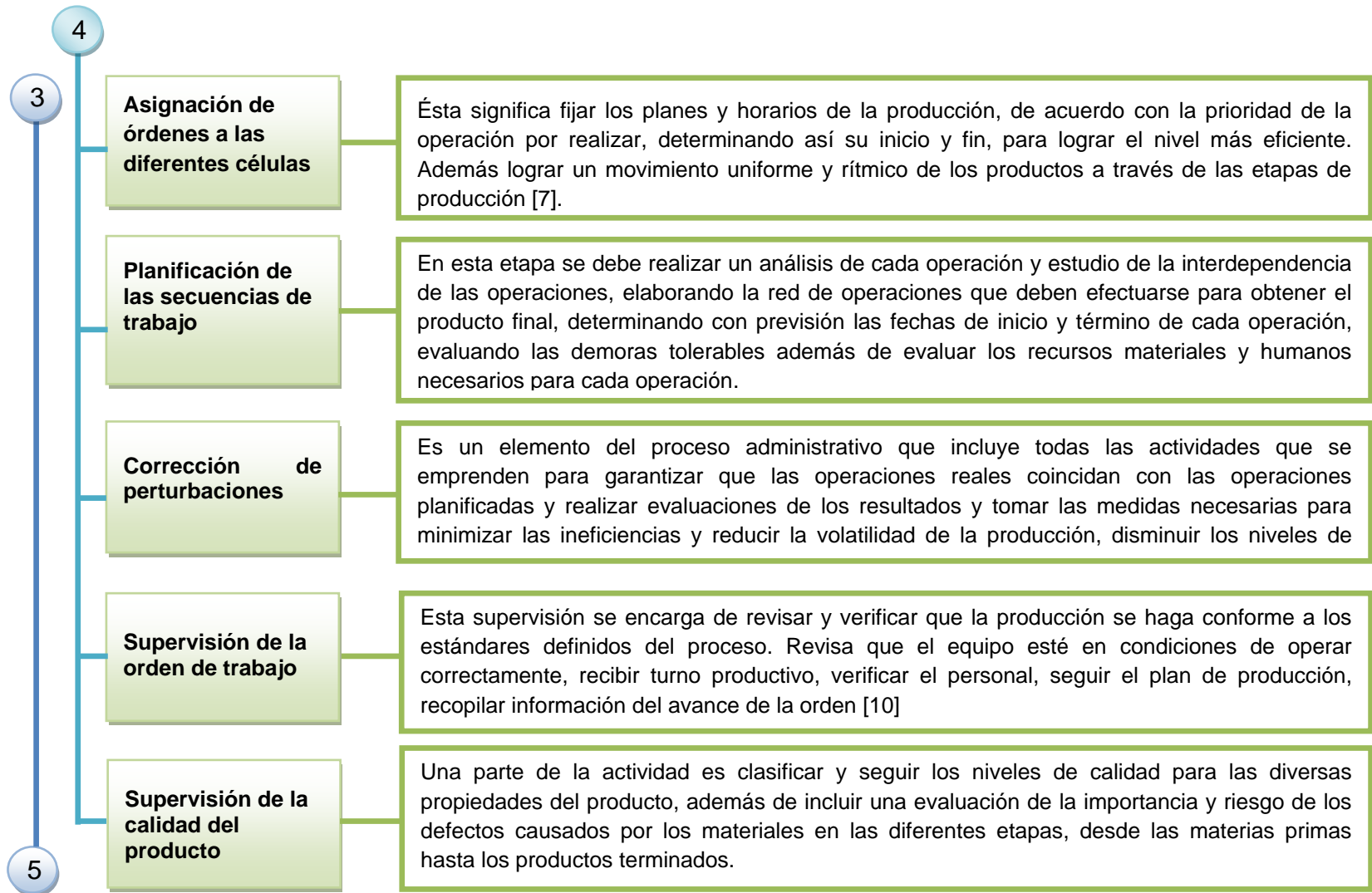
#### Reportar el balance y pérdidas de producto a Contabilidad Industrial

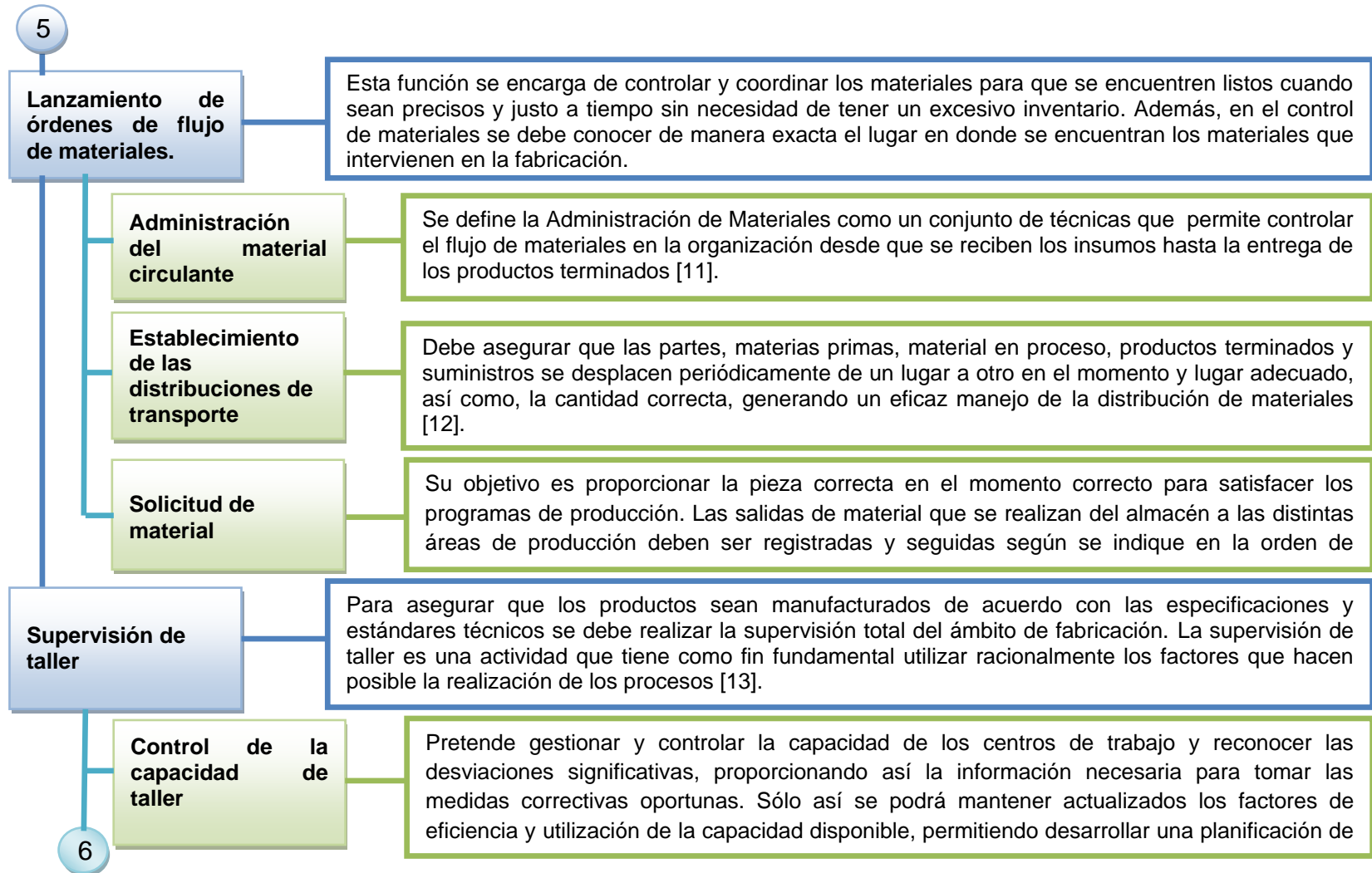
Permite controlar y evaluar el uso de sus recursos en la producción, además de obtener información necesaria y tomar acciones con el fin de reducir costos y determinar los diferentes costos como los materiales, la mano de obra, costos de fabricación y las pérdidas generadas a lo largo de todo el proceso [7].

1

2







6

**Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad**

La disponibilidad de la capacidad es la responsable de que los materiales, la maquinaria, el personal estén útiles para la producción durante un tiempo dado, optimizando y supervisando que los recursos funcionen ininterrumpidamente y de manera fiable, cumpliendo con las especificaciones y responsabilidades y todo ello a un costo razonable.

**Tratamiento de avisos de perturbación**

La superación de una perturbación comienza cuando se presentan avisos de inconvenientes o notas de corrección con lo que se debe trabajar de forma rápida para determinar las causas del problema principal e identificar otros problemas que de él se deriven; el tratamiento de avisos de perturbaciones debe establecer conjunto de acciones organizadas para solucionar problemas específicos, en tiempo limitado y con decisiones concretas.

**Llevar cuentas de salarios y costos de producción**

Para llevar cuentas de salarios es necesario indicar de todos los empleados cuándo inician y cuándo terminan de trabajar con el fin de controlar el número de horas en determinada orden. El registro que es enviado a contabilidad industrial debe mostrar una descripción breve del trabajo realizado y la cantidad de horas trabajadas; los costos de producción son los que se generan en el proceso de transformar las materias primas en productos terminados.

**Activación de trabajos de conservación**

El servicio de conservación es el responsable de que se mantengan las condiciones técnicas de funcionamiento de los medios de producción (maquinaria, herramientas, medios de verificación, controles equipos de manipulación, instalaciones de transporte, etc.). Sus cometidos abarcan dos ámbitos: mantenimiento preventivo y reparación de averías [1].

## 2.2 FLUJOS DE INFORMACIÓN DESDE Y HACIA CONTROL DE FABRICACIÓN.

En la Tabla 3 se puede observar de manera detallada los flujos de información que tienen relación con la función de control de fabricación además de especificar con qué ámbito se presenta cada intercambio de información.

Tabla 3: Flujos de información Control de Fabricación.





















Interfaz		Contenido de datos
CAM: Control de Fabricación		CI <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos de salarios</li> <li>Desempeño de producción y costos</li> <li>Balance y pérdidas de producto</li> </ul>
		PPC <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos de producción</li> <li>Progreso de las órdenes de trabajo</li> <li>Aviso de disponibilidad, cantidad, causa de rechazo,</li> <li>Movimiento de materiales,</li> <li>Datos de inventarios,</li> <li>Resultados de la ejecución del programa</li> </ul>
		
		CAP <ul style="list-style-type: none"> <li>Datos para la corrección de los procesos de trabajo</li> <li>Autorización, bloqueo del programa</li> </ul>
		
		CAQ <ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad y causa de rechazos,</li> <li>Solicitudes de renuncia en proceso,</li> <li>Datos de proceso</li> <li>Informe de calidad</li> </ul>
		
		Almacén <ul style="list-style-type: none"> <li>Orden de almacén</li> <li>Datos de proceso</li> <li>Datos de estado</li> <li>progreso de la orden</li> </ul>
		
		Transporte <ul style="list-style-type: none"> <li>Orden de transporte</li> <li>Datos de estado</li> <li>Progreso de la orden</li> <li>Costos de envío</li> </ul>
		
		Fabricación de piezas, montaje <ul style="list-style-type: none"> <li>Orden de trabajo</li> <li>Datos de estado</li> <li>Progreso de la orden</li> <li>Nota de corrección</li> <li>Solicitud de renuncia en proceso</li> <li>Balance y pérdidas de producto</li> </ul>
		
		Banco de pruebas <ul style="list-style-type: none"> <li>Orden de trabajo</li> <li>Datos de estado</li> <li>progreso de la orden</li> <li>Nota de corrección</li> </ul>
		



Tabla 3 (Continuación).

		Embalaje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orden de trabajo</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de estado</li> <li>• Progreso de la orden</li> <li>• Nota de corrección</li> </ul>
		Conservación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos básicos (Plazos propuestos y de planificación)</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pseudo-orden</li> <li>• Estado de conservación/repación, como respuesta de mantenimiento,</li> <li>• Realimentación técnica del mantenimiento</li> </ul>
		Datos Maestros	Datos de orden de taller, datos maestros de piezas, Datos de medios de producción, Valores para el cálculo presupuestarios, procesos de trabajo y de verificación (dibujos, listas de piezas)

Fuente: Adecuación del modelo Siemens a las normas Isa s88 e Isa s95, 2007.

Además debe tenerse en cuenta que a diferencia del modelo de referencia Siemens-FIET se realizaron algunas consideraciones que llevaron a descartar algunas interfaces debido a que no se considera necesario que Control de fabricación sirva como conector para el envío de la siguiente información y se cree que se debe trabajar de forma directa en el posterior modelado de los ámbitos del nivel de dirección de proceso a continuación mencionados.

La interfaz de conexión entre Control de Fabricación y Entrada de Mercancías en este trabajo se decidió no tenerlo en cuenta ya que se asume que el dato de Aviso de entrada de mercancías se puede enviar directamente a almacén de materias primas debido a que no existe una función o sub-función dentro del control de fabricación que necesite o reciba esta información igualmente para la información de la Solicitud de transporte que se decide enviársela a transporte por las mismas circunstancias que al Aviso de Entrada de Mercancías.

De manera similar se procede a evaluar la conexión de Control de Fabricación y el ámbito de Expedición, el cual es el flujo de asignación y autorización de mercancías con lo cual se decide que este flujo no se tendrá en cuenta y se puede conectar directamente con almacén de producto terminado debido a que solo es un anuncio de la cantidad de productos que se encuentran disponibles para despacho o venta, sin encontrar mayor importancia dentro del correcto funcionamiento de las funciones del control de fabricación.

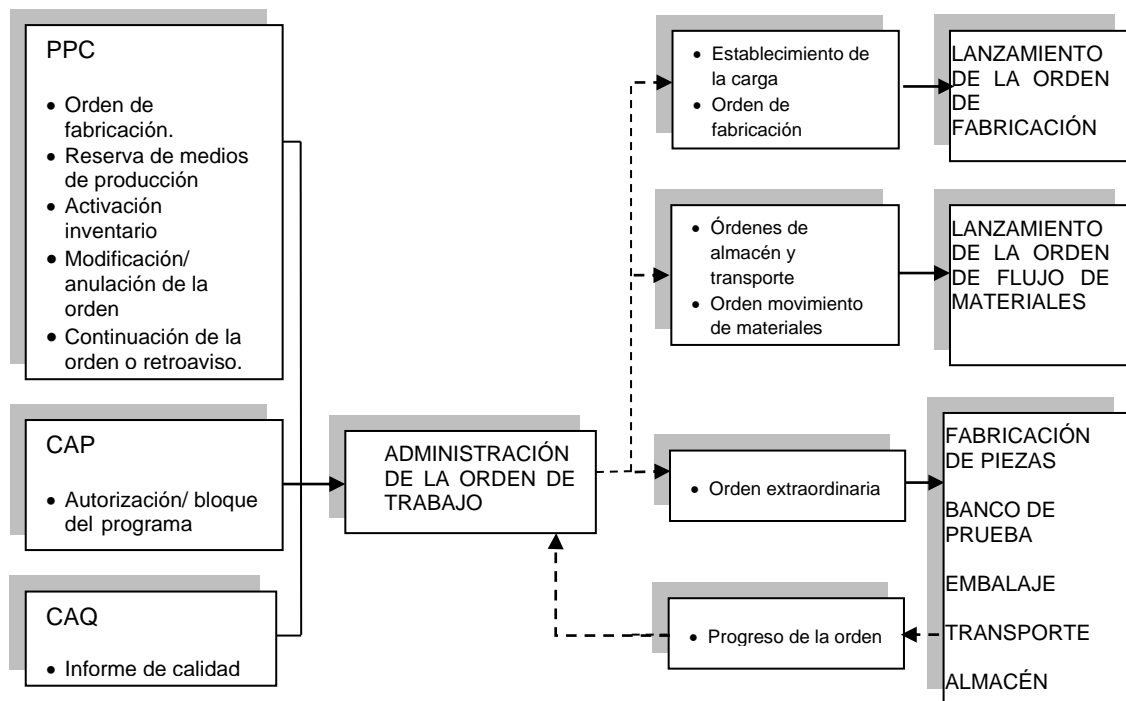
Por último se considera la parte de los datos referentes a los resultados de aseguramiento de la calidad donde se presenta el Flujo de la solicitud/devolución de herramientas y materiales que se lleva a cabo de Banco de pruebas, fabricación de piezas/montaje y embalaje, que era enviado hacia control de fabricación para conectarlos a CAQ, se decidió direccionarlo hacia almacén que controla la calidad de los materiales con la ayuda directamente de CAQ.

### 2.3 DIAGRAMA DE RELACIONES ENTRE FUNCIONES DE CONTROL DE FABRICACIÓN Y LOS DEMÁS ÁMBITOS FUNCIONALES.

Inicialmente para realizar la secuencia del flujo de información y de pasos que debe seguir una orden de fabricación dentro de la función control de fabricación en el proceso de manufactura se debe conocer qué información y de qué ámbito del nivel de dirección de taller ya que ésta función necesita de datos de niveles superiores para iniciar el proceso, una vez obtenida esta información se procede a clasificarla y direccionarla a cada una de las funciones internas del control de fabricación donde es necesaria para realizar alguna actividad. En la Figura 3 se muestra el planteamiento de la distribución y el tipo de datos que ingresan a la primera función del control de fabricación, que es la administración de la orden de trabajo, encargada en primera instancia de recibir toda esta información tanto para distribuirla dentro del proceso de manufactura como para realizar sus tareas de verificación y emisión de las órdenes de trabajo emitidas por PPC. Además se presenta con la línea discontinua la información de salida de la función de Administración y que se dirige hacia las otras funciones como son el Lanzamiento de la orden de fabricación, de materiales y a los ámbitos del nivel de dirección de procesos involucrados en la orden emitida.

Para comprender mejor las siguientes figuras debe considerarse que las líneas punteadas presentes en cada gráfico corresponden a los datos de salida de cada función del control de fabricación o ámbito funcional del nivel de dirección de proceso; datos relacionados con fabricación de piezas, banco de pruebas, embalaje, almacén, transporte o conservación; y las líneas continuas representan los datos de entrada concernientes.

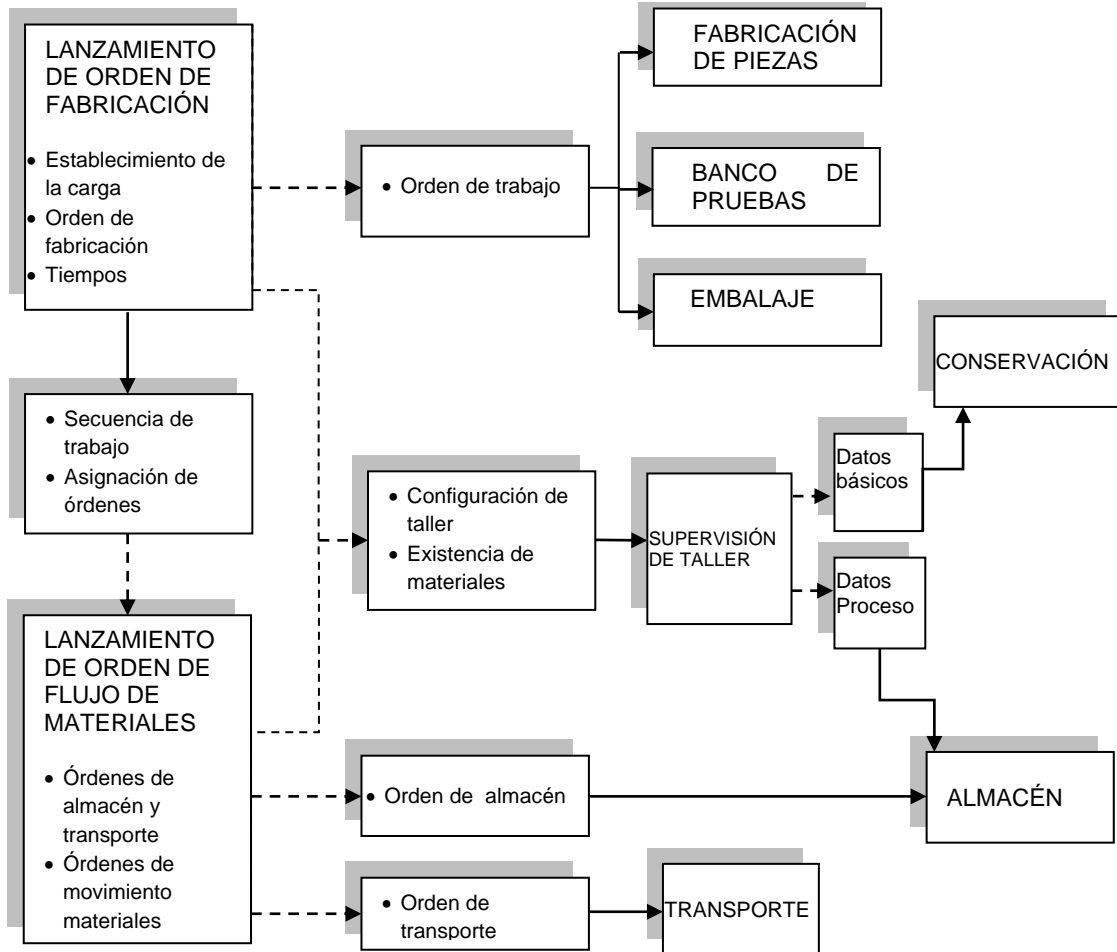
Figura 3: Información de entrada a la función control de fabricación.



Fuente: Propia, Febrero 2010.

En la Figura 4 se puede observar cómo continúa el proceso de propagación de la información por todo el ámbito CAM con la ayuda de las funciones de lanzamiento de orden de fabricación, lanzamiento de orden de flujo de materiales y la supervisión de taller hacia el piso de planta con datos como orden de trabajo, configuración de taller, orden de almacén y transporte después de haber recibido los datos necesarios generados en las etapas de planificación y control de la producción de largo, corto y muy corto plazo como las órdenes de fabricación, de almacén y transporte, secuencias y establecimientos de carga.

Figura 4: Propagación de las órdenes al nivel de dirección de proceso.

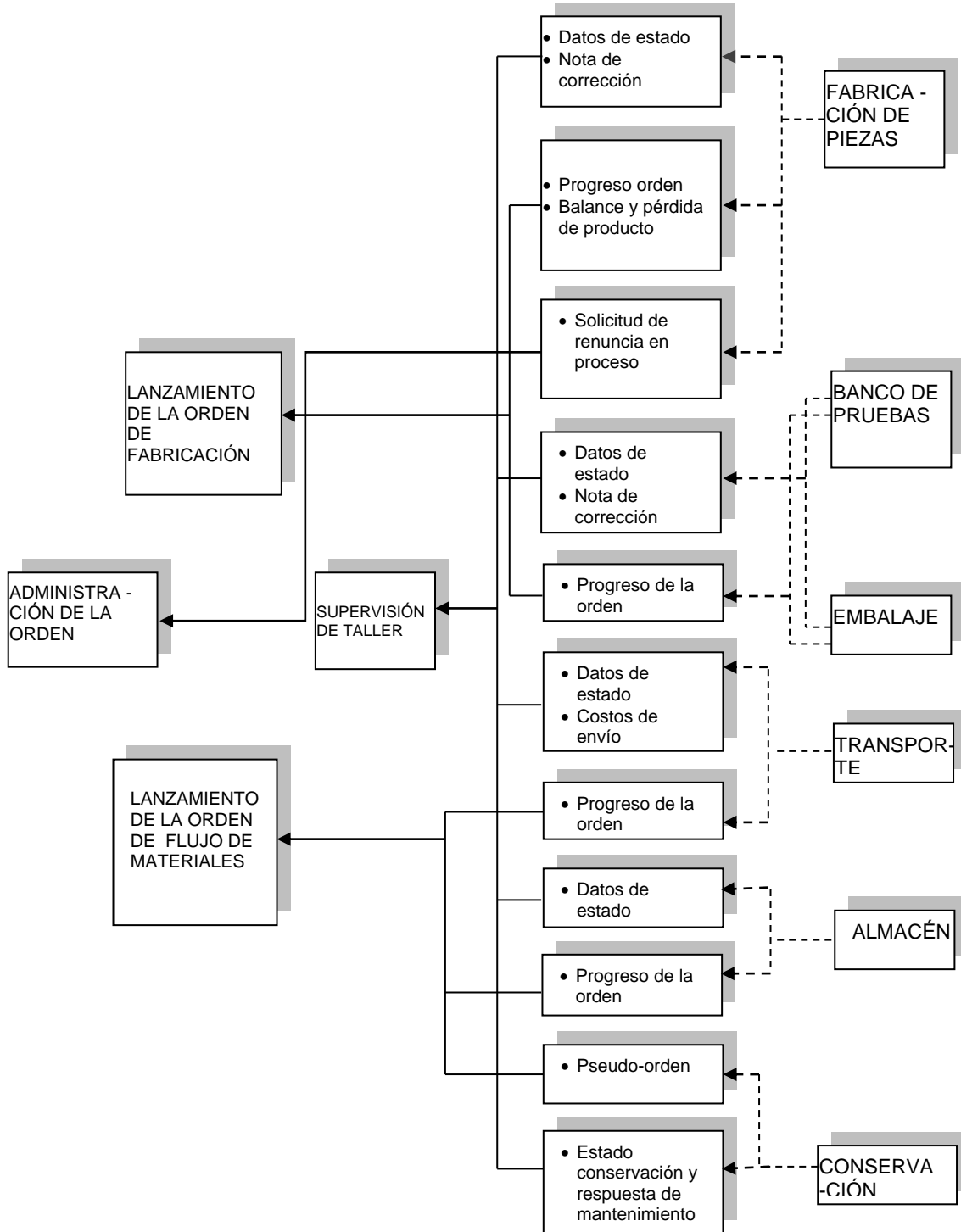


Fuente: Propia, Febrero 2010.

Para que en una empresa se tenga una correcta planeación y se pueda verificar que todo se esté realizando según patrones y estándares deseados debe existir un canal de información que continuamente reporte acerca de lo que sucede en todo el taller. En la Figura 5 se muestra cómo se realiza la retroalimentación hacia los niveles superiores con la ayuda de la función control de fabricación que recibe todos los datos de la planta como los estados de conservación, datos de estado, progreso de la orden, balances y pérdidas de productos para que puedan ser enviados a CAP, PPC, CAQ, CI para la planificación, corrección y evaluación de los procesos productivos actuales y futuros. Adicionalmente se

envía la Pseudo-orden desde conservación a supervisión de taller para que una vez realizada la programación de la conservación, sea informado control de fabricación acerca de cuándo se llevará a cabo el mantenimiento y reparación.

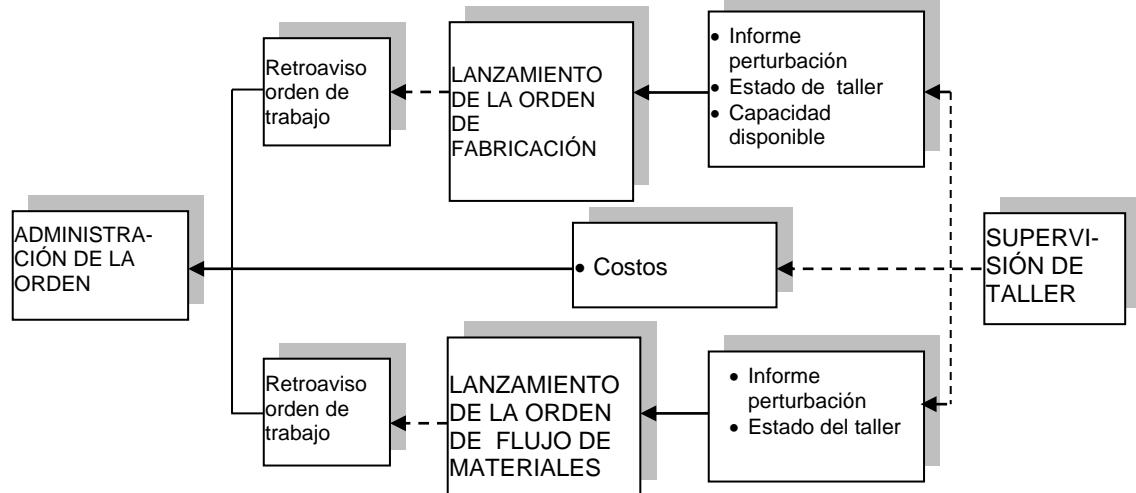
Figura 5: Reporte de datos y estado del nivel de dirección de proceso.



Fuente: Propia, Febrero 2010.

Los flujos de la retroalimentación y los datos que son enviados dentro de las cuatro funciones que componen el control de fabricación son mostrados en la Figura 6.

Figura 6: Retroalimentación entre las funciones del control de fabricación.

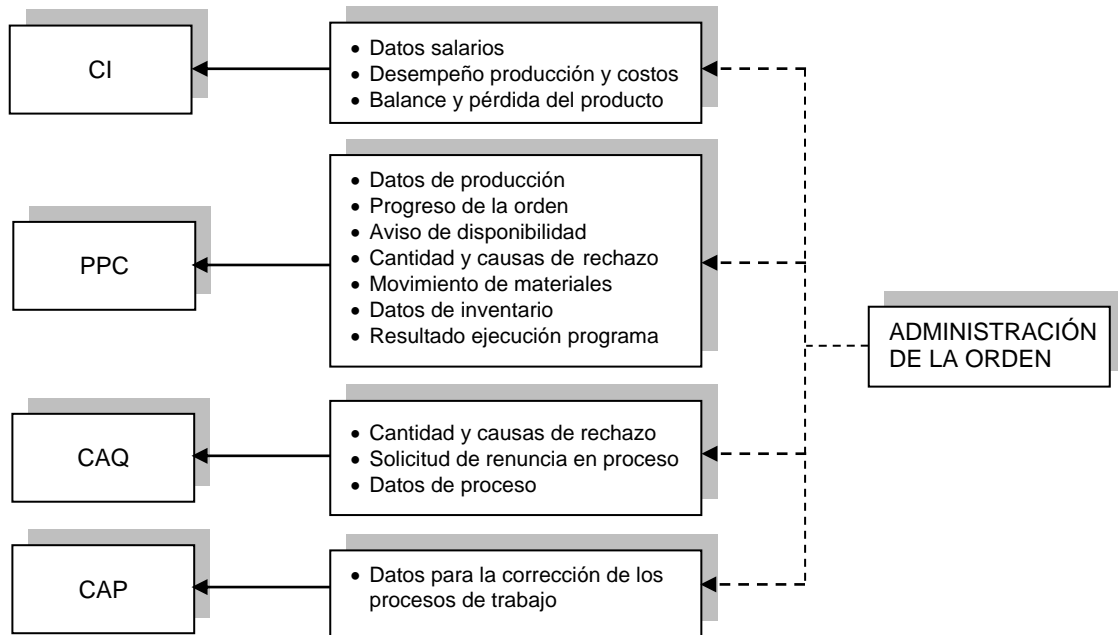


Fuente: Propia Febrero 2010.

En el último paso, como se indica en la Figura 7, se envía la retroalimentación a los niveles superiores en la organización, necesaria para las futuras planificaciones y la mejora continua de los procesos de producción y planeación.

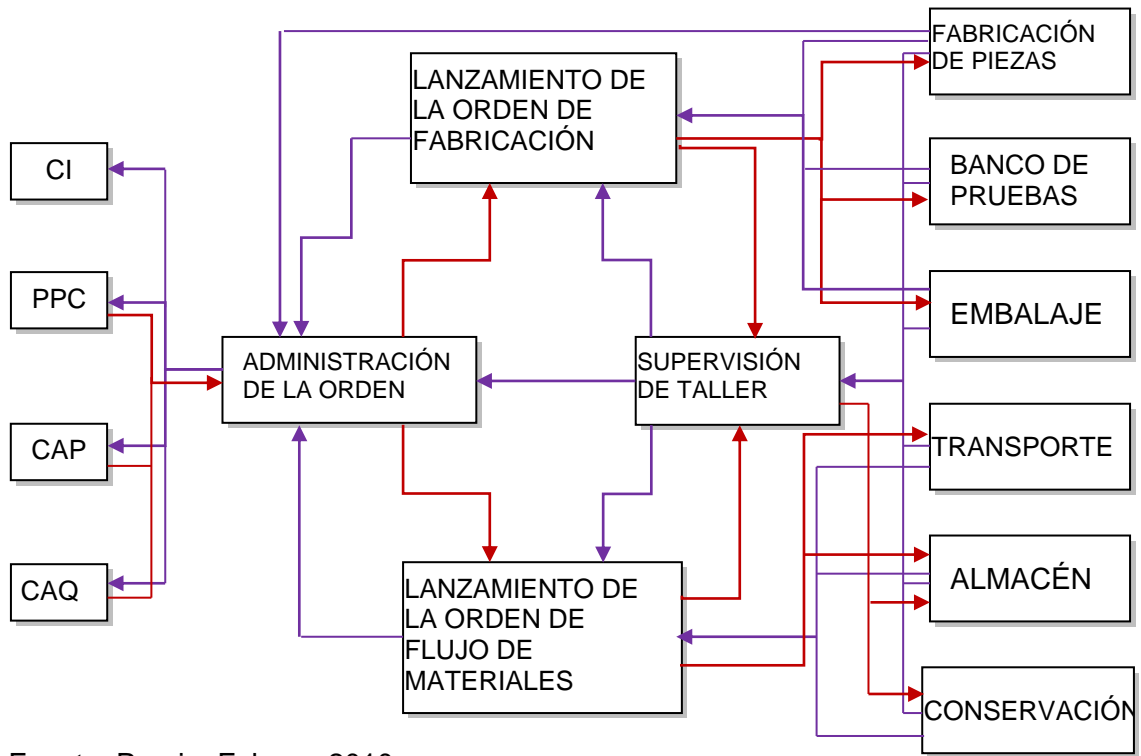
En la Figura 8 se presenta el diagrama final de los flujos de información obtenido de la unión de los gráficos anteriores y que son necesarios para que se ejecute una correcta ejecución y control de la producción. Para su distinción se presenta las líneas que indican la información que va desde el nivel de dirección de taller hacia el nivel de dirección de proceso (como son las órdenes de fabricación, informes de calidad, activación de inventario, entre otros) de color rojo y los flujos que vienen del piso de planta hacia los niveles superiores de color morado.

Figura 7: Informes de producción y proceso al nivel de dirección de taller.



Fuente: Propia. Febrero 2010.

Figura 8: Diagrama final del flujo de información dentro de la función Control De Fabricación.












Fuente: Propia, Febrero 2010.

## 2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN.

Después de realizar el análisis de las funciones de administración de la orden, lanzamiento de órdenes de fabricación, lanzamiento de órdenes de flujo de materiales y la supervisión de taller; además de las relaciones de entradas y salidas tanto de las funciones anteriormente mencionadas; como de los ámbitos de contabilidad industrial (CI), planificación asistida por computador (CAP), calidad asistida por computador (CAQ), planificación y control de la producción (PPC) y los ámbitos del nivel de dirección de proceso; obtenidas de la investigación, se procedió a elaborar un diagrama de flujo interno, que muestra la secuencia óptima de las tareas que debe realizar cada función dentro del control de fabricación; con lo cual se obtuvo una secuencia tanto de las funciones y subfunciones como de los flujos de información externos relacionados con dicha función; para la representación en el diagrama se plantea la identificación de cada función además de cada ámbito con base en la convención de colores que se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4: Convención de colores para el diagrama de flujo.

Ámbito	Color
CI	
CAP	
CAQ	
PPC	
Nivel de dirección de proceso	
Función	Color
Administración de la orden de trabajo	
Lanzamiento de orden de fabricación	
Lanzamiento de flujo de materiales	
Supervisión de taller	

### 2.4.1 Aceptación y administración de las órdenes de fabricación

Una vez que de acuerdo con el plan maestro de producción enviado por PPC, ver Figura 9, se ha comprobado la llegada de la orden de fabricación, la fecha de emisión de un pedido, la reserva de medios de producción y la activación de inventario se verifica si es una orden extraordinaria; en caso de no ser así, se lleva a cabo el proceso de aceptación de la orden en el cual se pretende comprobar si puede procederse realmente a la emisión de esa orden teniendo en cuenta:

- La disponibilidad de la capacidad en los correspondientes centros de trabajo.
- La disponibilidad de los materiales necesarios para la elaboración del pedido.

La información referente a la existencia de materiales y la disponibilidad de la capacidad es obtenida con ayuda del informe de producción adquirido de los datos maestros que son bases de datos que proporcionan la información sobre la situación actual de las células o centro de trabajo (CT), sirviendo de base para proceder o no a la aceptación, además de los datos de materiales.

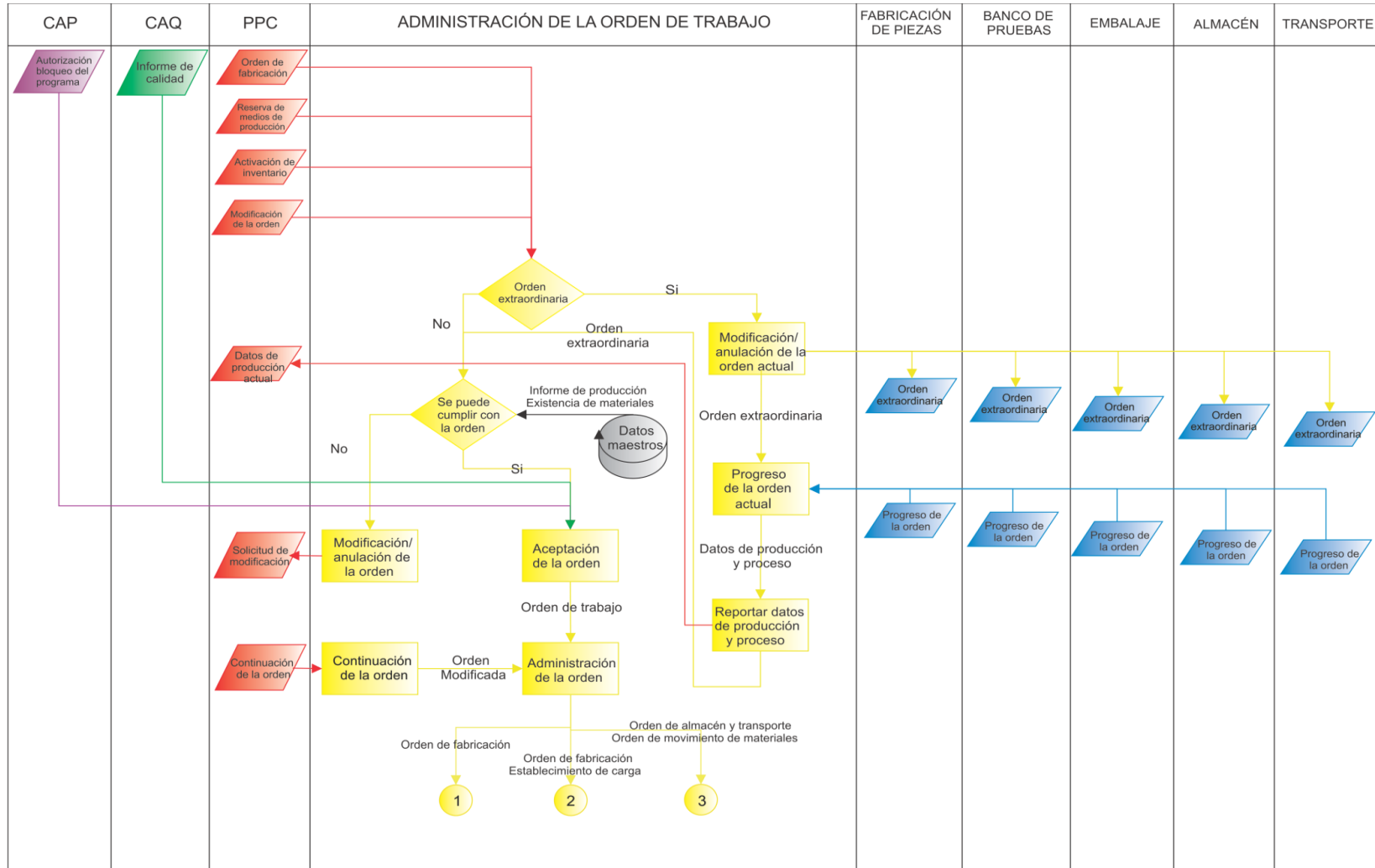
En el caso de que no se diera alguna de las condiciones anteriores, esta etapa debe realizar una solicitud de modificación de la orden reportando la necesidad de ajustes por los que no se puede cumplir, para que PPC realice posibles correcciones, como puede ser la necesidad de la consecución de materiales o tomando alguna medida para la reducción de las colas de espera, como pueden ser ampliar plazos, cambiando órdenes, subcontratando horas extras.

Si es posible cumplir con la orden emitida se inicia el proceso de administración de la orden que se encarga de identificar el producto y el proceso que se debe realizar con lo que envía a las subfunciones ocupación de la capacidad y, curva de carga y previsión de carga de la función lanzamiento de las órdenes de fabricación, los datos correspondientes a la orden de fabricación y el establecimiento de carga, y a la sub-función administración del material circulante de la función lanzamiento de órdenes de flujo de materiales, las órdenes de almacén y transporte, además de la orden de movimiento de materiales.

En el caso de que la orden recibida sea una orden extraordinaria, los procesos de aceptación y administración presentan un flujo de información adicional que sería enviar, con la ayuda de la sub-función Modificación/anulación de la orden actual y la de progreso de la orden datos acerca de la orden extraordinaria, la orden de parada y solicitud de progreso de la orden actual, con lo que se pretende informar a los ámbitos del nivel de dirección de proceso que se ha generado una orden extraordinaria y recibir un informe de que células o centros de trabajo se puede parar, en qué grado de avance va la orden o si ya ha terminado su trabajo para poder reasignar órdenes con respecto a la nueva petición de fabricación, posteriormente retroalimentar a PPC los datos de la producción actual que entraría en conflicto con la orden extraordinaria, para luego continuar con el proceso normal de aceptación en la etapa de verificar si se puede cumplir con la orden



Figura 9: Proceso de aceptación y administración de una orden.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

## 2.4.2 Lanzamiento de las órdenes de fabricación

Una vez pasada la orden por el proceso de aceptación y administración, se procede al lanzamiento de órdenes de fabricación, como se indica en la Figura 10, lo cual inicia con la generación de la ocupación de la capacidad con la ayuda de la orden de fabricación y la oferta de la capacidad, enviando a la subfunción de curva de carga la capacidad necesaria para que ésta establezca la previsión de carga que es la asignación de la carga de los pedidos a los centros de trabajo, indicando qué operaciones se realizarán en cada uno de ellos. Normalmente si una operación se puede realizar en, distintas máquinas o en diferentes CT, el tiempo necesario para ejecutarla variará con el CT que la lleve a cabo. Por ello, la asignación suele hacerse de forma que el tiempo total empleado sea el menor posible; los tiempos de carga totales de cada pedido en cada CT serían el elemento de referencia que considerar. Esto se hace suponiendo que ello traerá consigo el menor costo.

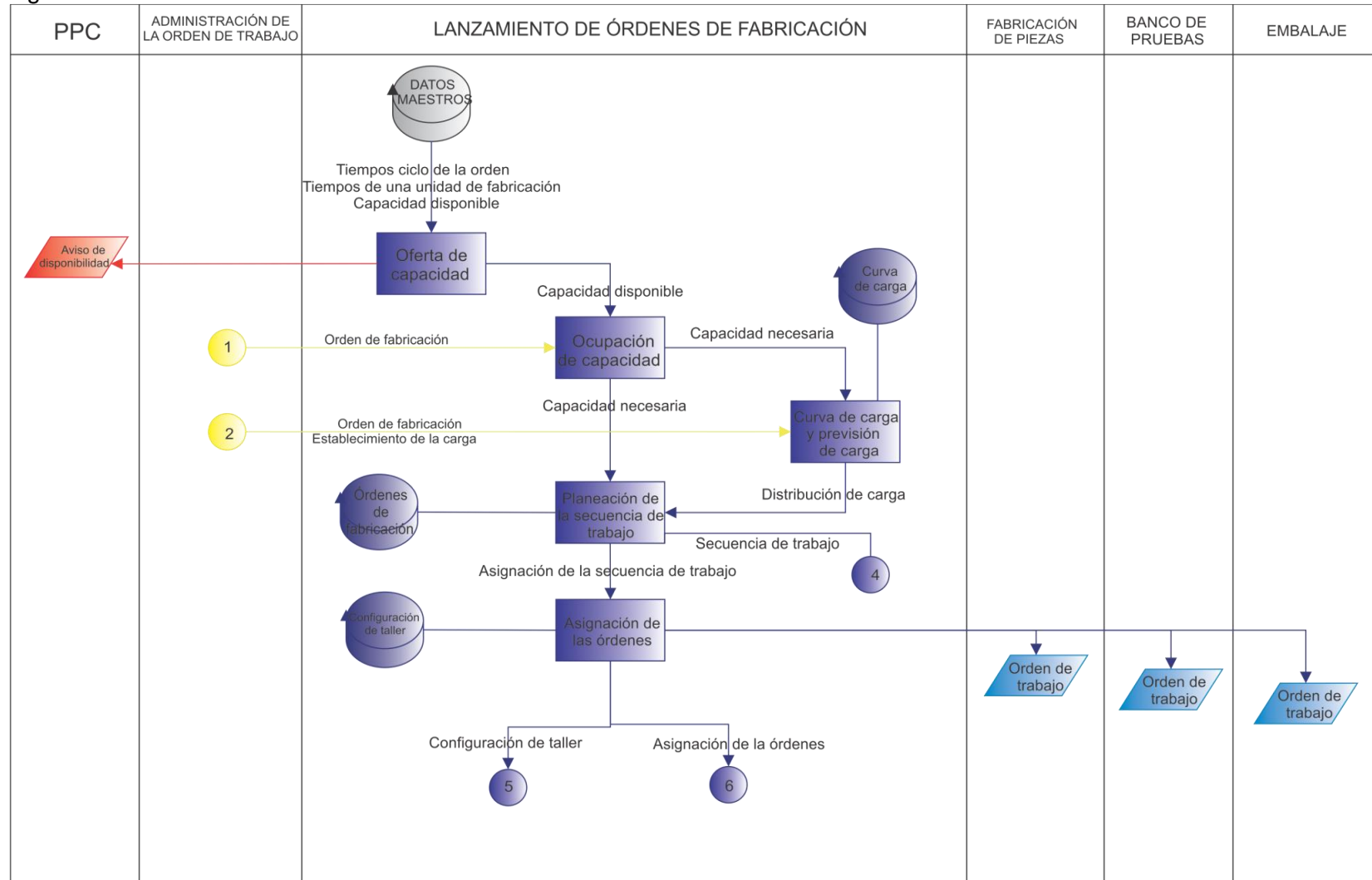
Las técnicas empleadas para realizar esta actividad son diversas y algunas de ellas son:

- Aproximación de prueba y error: gráficos de carga.
- Métodos optimizadores.
- Soluciones heurísticas: el método de los índices.

Posteriormente de tener la curva de capacidad y la capacidad necesaria se procede a la planeación de la secuencia de trabajo, estableciendo la prioridad de paso de los pedidos y de los momentos de comienzo y fin de las actividades en los diferentes centros de trabajo, para cumplir las fechas de entrega planificadas con la menor cantidad de inventario y recursos. La forma de desarrollarla dependerá del tipo de configuración que tenga la fábrica.

Finalmente, se procede en esta etapa a la asignación de las órdenes, con lo que periódicamente se enviarán las órdenes asignadas a cada célula de trabajo de las distintas funciones del nivel de proceso, de forma que el encargado sepa qué trabajo va realizar, además conocerá qué pedidos vendrán a continuación, dónde se encuentran, qué carga generarán e incluso la preparación que debe llevarse a cabo para el pedido correspondiente. Ello le permitirá coordinar su actividad con otros CT evitando así tiempos ociosos pues en cada momento sabrá qué operaciones de qué pedidos ha de realizar para lograr cumplir las fechas de entrega; además de la confección del pedido, que contendrá la información precisa, se procede a emitir el pedido a lanzamiento de órdenes de materiales y a la supervisión de taller.

Figura 10: Proceso de lanzamiento de órdenes de fabricación.



Fuente: Propia, Marzo 2010

### **2.4.3 Lanzamiento de las órdenes de flujo de materiales**

Seguido de que el pedido sea emitido del proceso de lanzamiento de órdenes de fabricación, se toma por el lanzamiento de órdenes de flujo de materiales la especificación de materiales, ver Figura 11, se compara con la existencia de materiales y se procede a enviar, si esto es viable la orden y el momento en que se han de retirar del almacén los materiales que emplear y enviando la orden de solicitud de transporte para el traslado de los materiales a cada centro de trabajo por donde ha de pasar, en la cantidad y el tiempo exacto, los materiales, productos en proceso y terminados. Con lo que el pedido pasaría a considerarse en curso de fabricación, permaneciendo así hasta el momento en que se finalice y se recepcione en el almacén de producto terminado, siendo todo este tiempo de permanencia en curso vigilado por la función de supervisión de taller.

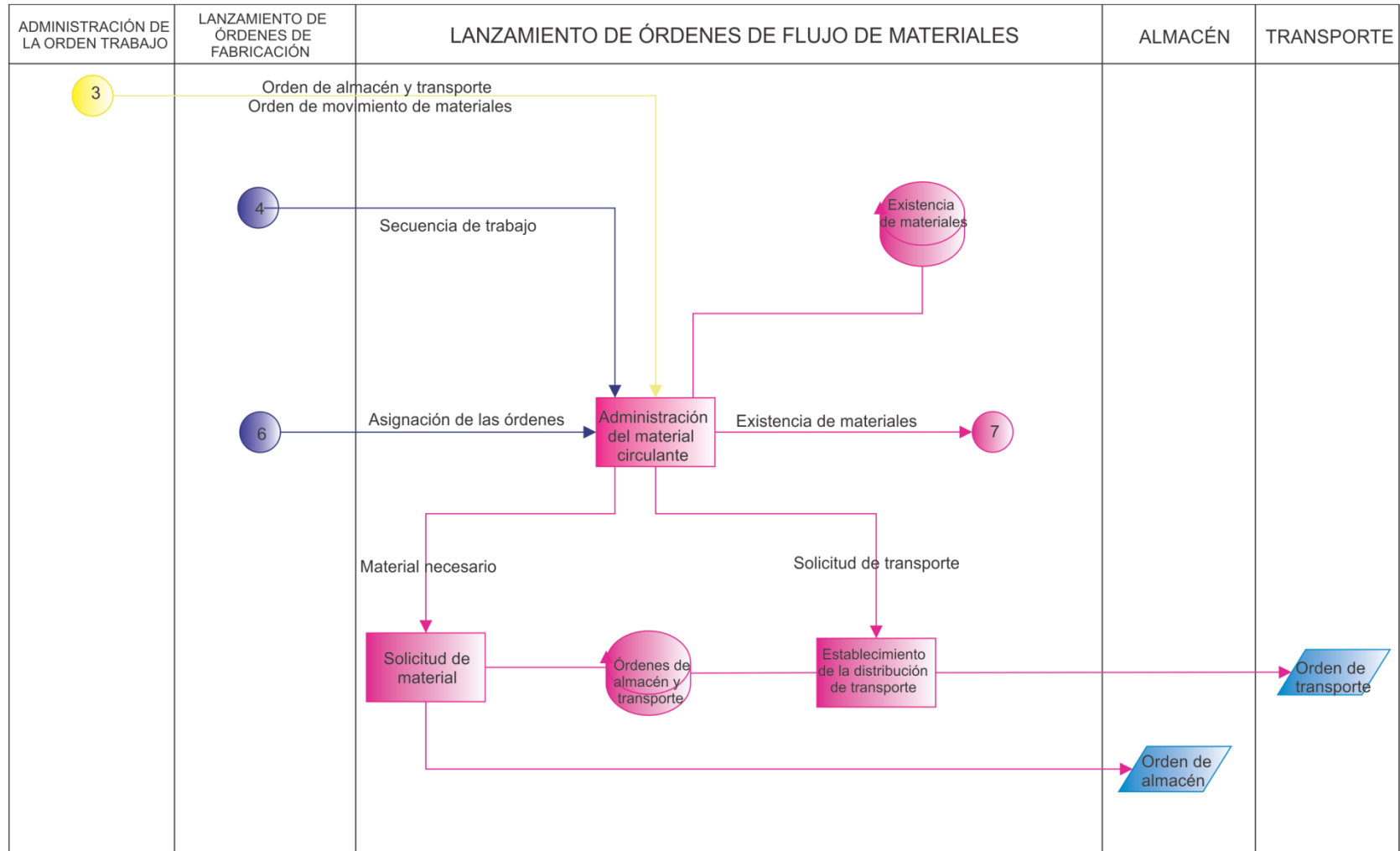
### **2.4.4 Supervisión de taller**

Una de las actividades principales en esta función es el control de capacidad, Figura 12, que pretende gestionar y controlar la capacidad de los centros de trabajo y reconocer las desviaciones significativas con la ayuda de la responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad, proporcionando así la información necesaria para tomar las medidas correctivas oportunas. Sólo así se podrá mantener actualizados los factores de eficiencia y utilización de la capacidad disponible, permitiendo desarrollar una planificación de capacidad fiable. La herramienta más utilizada es el control o análisis de los flujos de entrada y salida de un CT con la ayuda de la comparación de la capacidad desarrollada y necesaria, obteniéndose la situación y evolución de la cola de espera.

Las etapas de la activación de los trabajos de conservación se han encaminado hacia las prácticas preventivas. El mantenimiento que realizar en una máquina debe ser prioritariamente de carácter anticipado y el mínimo necesario de acuerdo con sus características de funcionamiento y tendencia al fallo, con ayuda de un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, dominio del equipo que opera y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Para ello es fundamental trabajar desde un enfoque planificado de las tareas a partir de la previsión y la preparación de las paradas programadas de producción; esto se hace teniendo en cuenta las pseudo-órdenes dirigidas por conservación como aviso de la proximidad de una actividad de la planificación anual de mantenimiento. Sin embargo, no siempre estamos en disposición de aplicar el mantenimiento ideal a una máquina concreta debido a las limitaciones reales que se suelen presentar; es por lo que se hace con anticipación y en caso de ser este mantenimiento posible se enviarían los datos básicos para el mantenimiento y se espera recibir el estado como respuesta de mantenimiento.

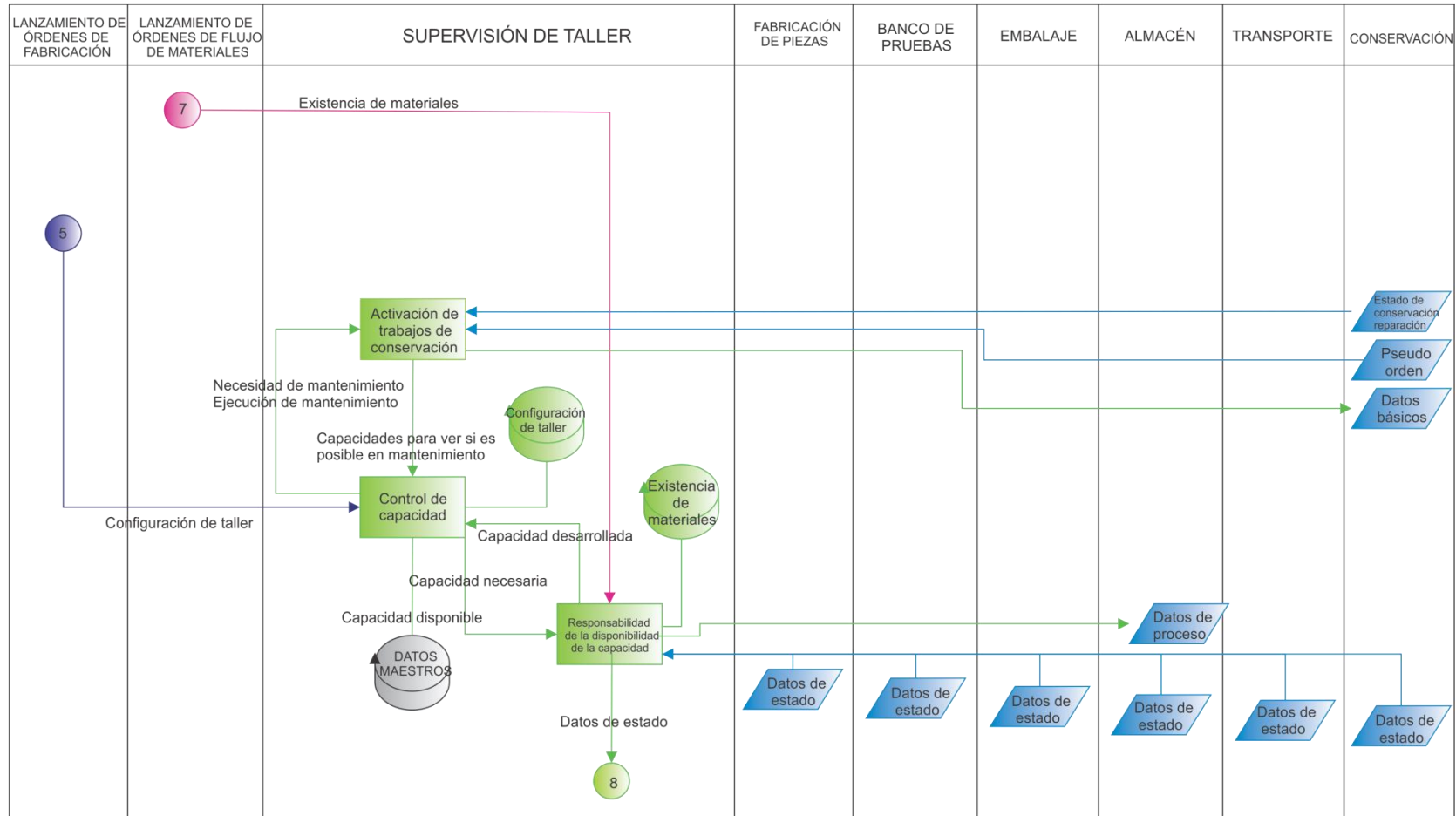
Otra parte importante que compone la supervisión de taller y que es esencial para todas las etapas de planificación, supervisión y ejecución de una orden es la etapa de recopilación de todos los datos provenientes del nivel de dirección de proceso con los cuales se hace seguimiento y planeación a todos los niveles, siendo esta recopilación posible gracias a la responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad que recibe todos los datos de estado de todos los ámbitos más cercanos al piso de planta.

Figura 11: Proceso de lanzamiento de órdenes de flujo de materiales.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

Figura 12: Proceso de control de capacidad.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

A continuación todos estos datos recopilados es necesario clasificarlos para que puedan ser emitidos a las diferentes tareas, para poder realimentar a los otros ámbitos o para que dentro del Control de Fabricación se vuelva a generar la planificación; la clasificación de todos estos datos puede producir diferentes rutas y acciones como pueden ser:

- Si se determina que los datos son notas de correcciones, Figura 13, se procede a enviarlos al tratamiento de aviso de perturbaciones que origina que la función de lanzamiento de materiales realice la corrección de perturbaciones, generando la orden de corrección por falta de materiales o por la limitación en la calidad de materiales a la administración de material circulante; si es por la ineficiencia en el proceso de fabricación se reporta al ámbito de fabricación de piezas o si es por daños en maquinaria y equipos a conservación, además de generar reportes a la modificación/anulación de la orden y a la supervisión de la orden de trabajo.

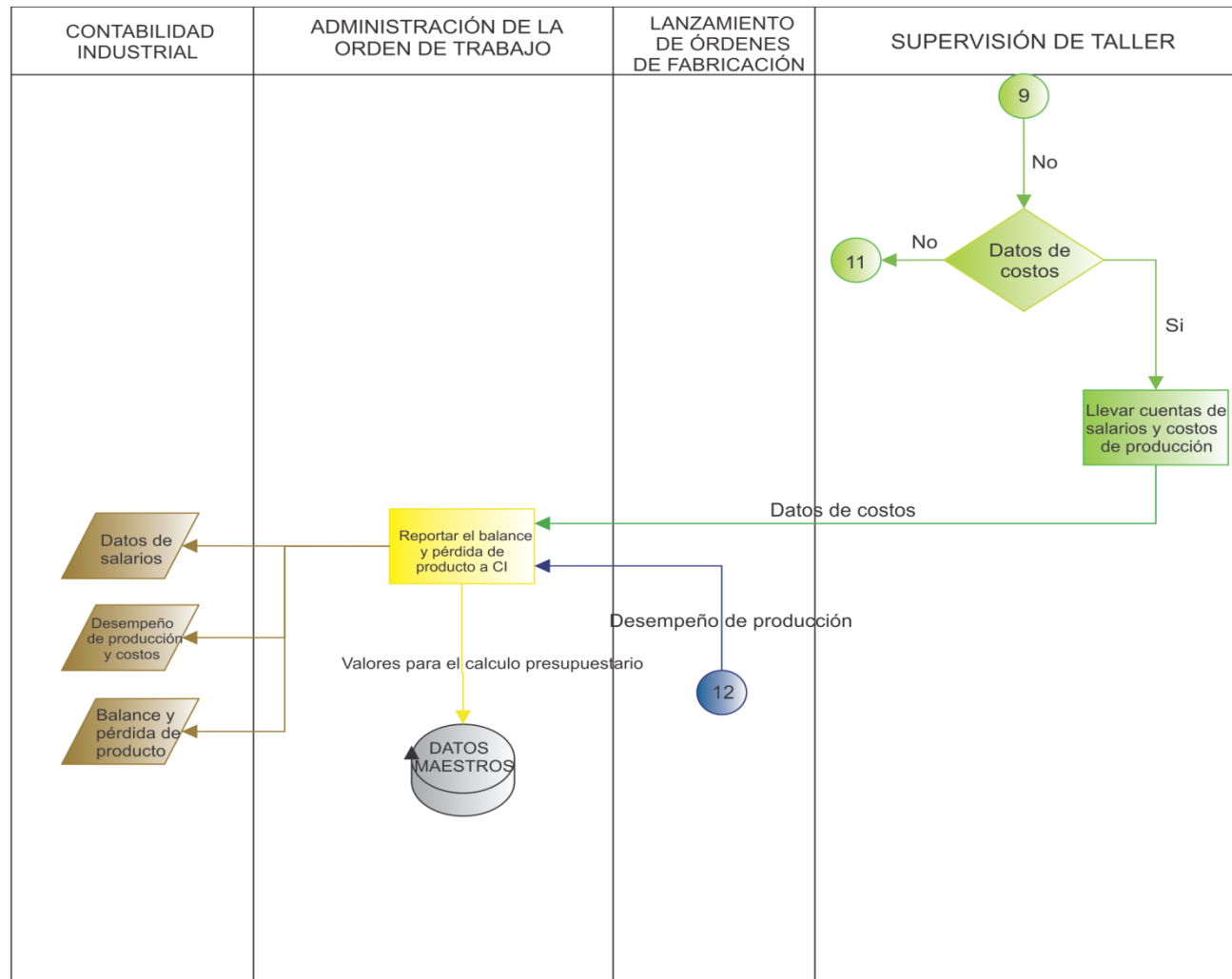
En la eventualidad de que la corrección de perturbaciones realizada por el control de fabricación no pueda con los problemas que se presentaron y vuelven a repetirse se reportan al nivel de dirección de taller las siguientes solicitudes:

- Autorización/bloqueo del programa
  - Solicitud de renuncia en proceso
  - Modificación de la orden
- 
- En caso de tener un dato de costo, ver Figura 14, se direcciona a llevar cuenta de salario y costos de producción para posteriormente informar de todos los costos por medio del proceso de reportar datos al nivel de dirección de taller.
- 
- Y finalmente si son datos de almacén o transporte se informan a la administración del material circulante que hace el tratamiento de estos datos y luego ser reportados al nivel de dirección de taller o si fueran datos de los ámbitos relacionados con la fabricación, banco de pruebas y embalaje que van a supervisión de la orden de trabajo, como se muestra en la Figura 15.



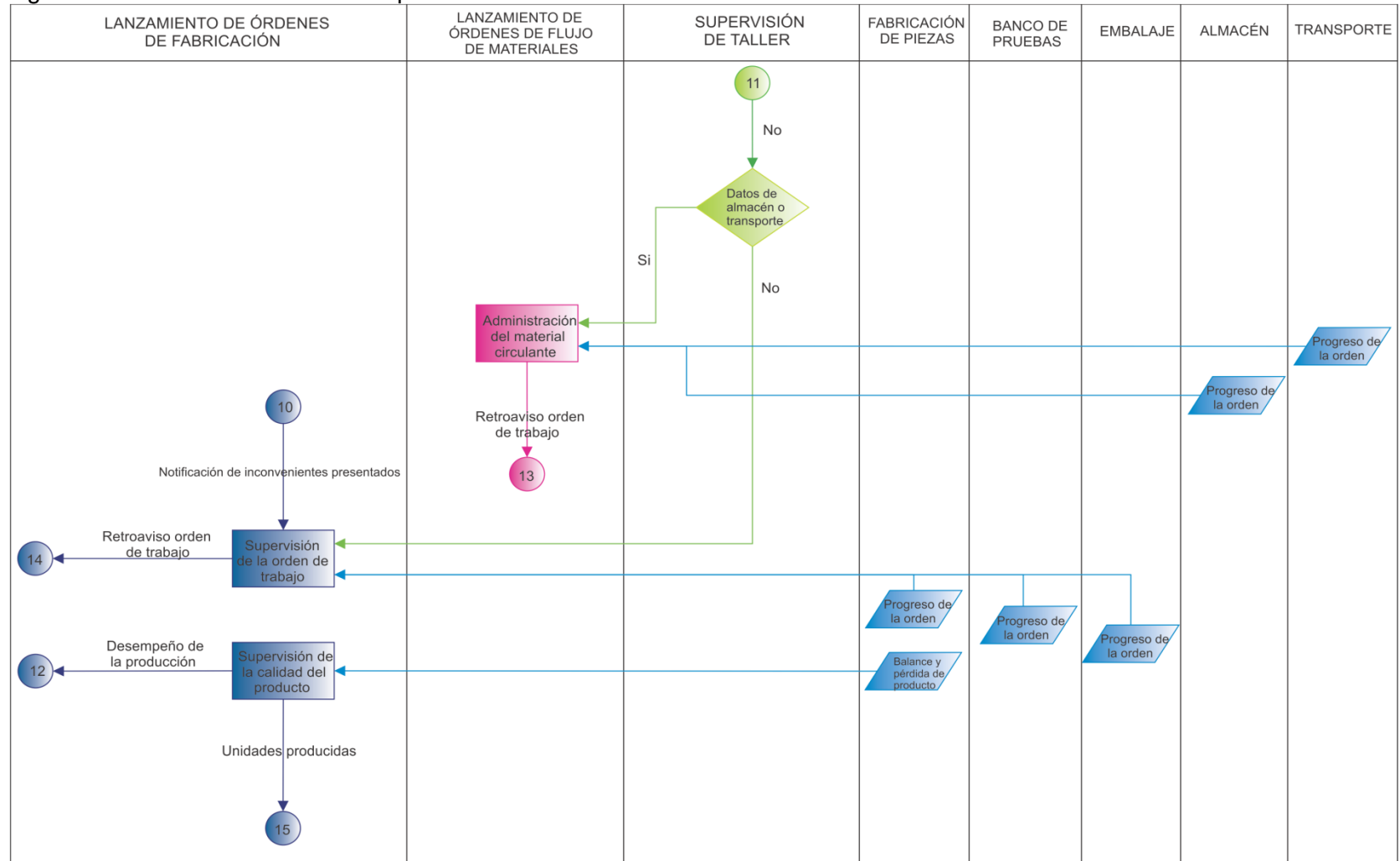


Figura 14: Tratamiento de datos de costo.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

Figura 15: Tratamiento de datos de proceso.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

Además de los datos anteriormente mencionados se reportan al nivel de dirección de taller (ver Figura 16):

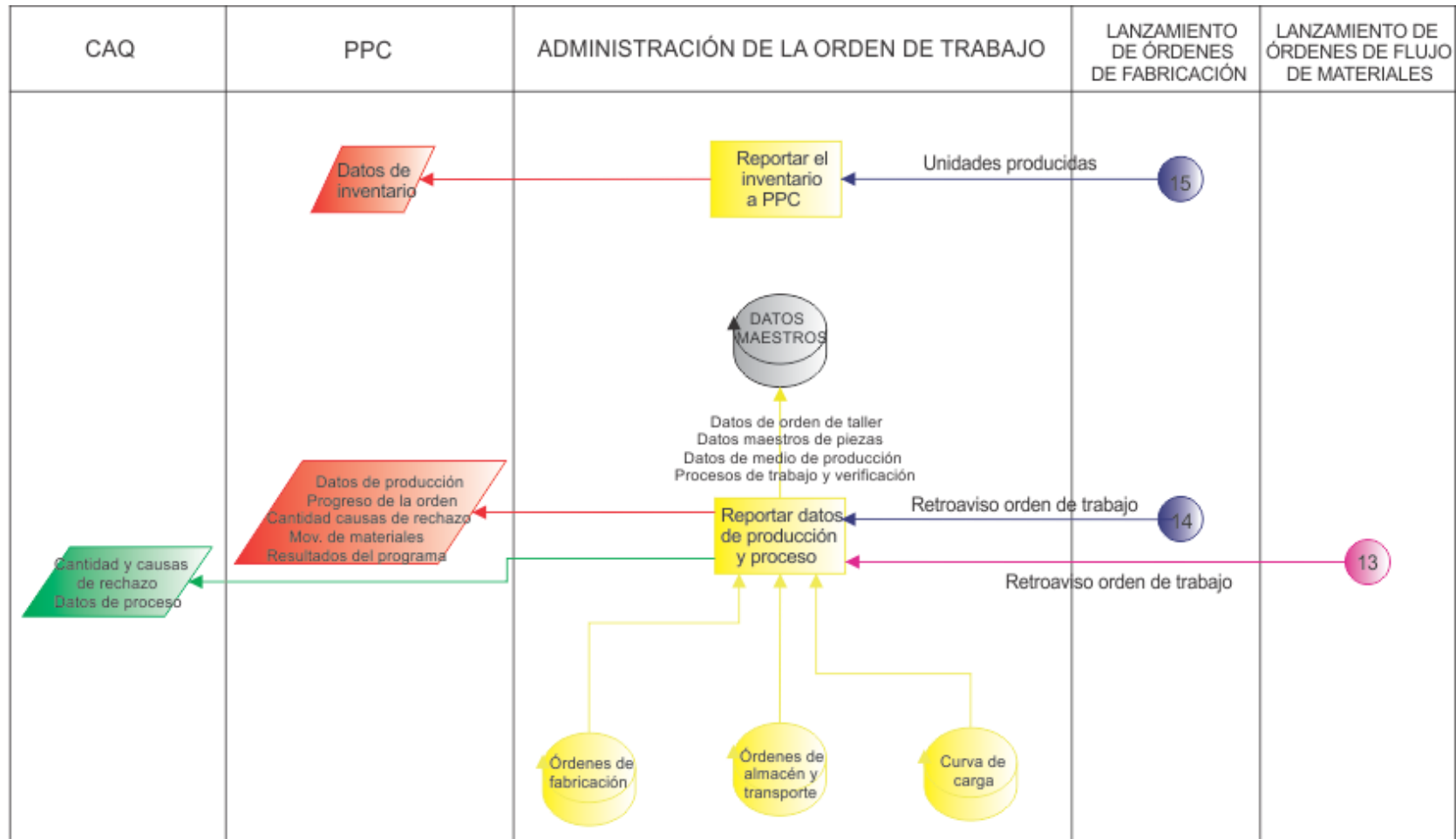
- Datos de salarios
- Desempeño de la producción y costos
- Balance y pérdida de producto
- Datos de inventario
- Datos de producción y proceso
- Progreso de la orden y movimiento de materiales
- Cantidad y causa de rechazo
- Resultados del programa.

El diagrama con la estructura interna de la función control de fabricación que reúne toda la información mencionada anteriormente se puede encontrar en los planos anexos en medio digitales.

Es de tener en cuenta en el gráfico que las bases de datos que se representan de color gris son los datos maestros que sirven para obtener y depositar información para todos los ámbitos de todos los niveles de la organización, y las bases de datos que se presentan del mismo color de las funciones se refieren a las bases de datos presente sólo para la función relacionada.

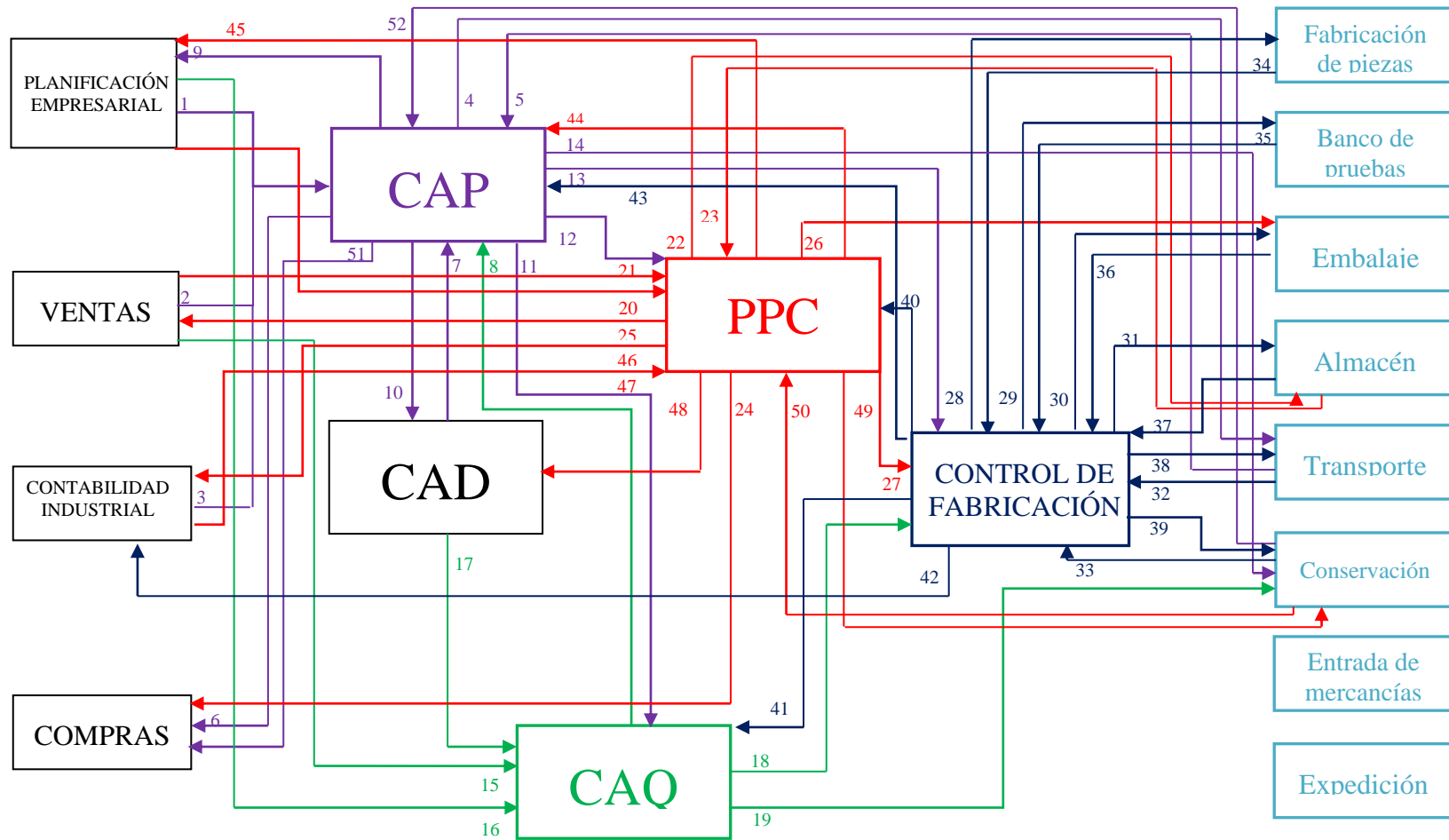
Como uno de los objetivos propuestos es establecer los flujos de información para comunicar la función de control de fabricación del proceso de manufactura con los procesos de planeación, procesos de programación, sistemas de calidad y los niveles de dirección de proceso, se ha propuesto como se indica en la Figura 17 un modelo que representa la conexión de los flujos de información entre los niveles de dirección de taller, de producción y de proceso; para conocer a qué se refiere cada uno de los flujos remitirse al anexo A.

Figura 16: Reporte de datos al nivel de dirección de taller.



Fuente: Propia, Marzo 2010

Figura 17: Diagrama de conexión de los flujos de información entre los distintos ámbitos.



Fuente: Propia, Marzo 2010.

### **3. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ENFOQUES PARA EL DISEÑO DEL MODELO DINÁMICO.**

Una vez obtenida la estructura interna de la función de control de fabricación se pretende ahora implementar aspectos del control de fabricación a partir de las entradas y salidas funcionales de este ámbito, es decir, modelar dinámicamente el proceso de control de fabricación dentro del contexto de manufactura; el modelo dinámico describe los aspectos de un sistema que cambian con el tiempo, se utiliza para especificar e implementar los aspectos de control de sistemas y es el que describe cómo responde la comunidad de objetos a un estímulo específico, sean estos estímulos internos o externos, ya que lo que se busca es observar cómo reacciona ante éstos el sistema, es decir, a qué objetos afecta y en qué orden lo hace; de hecho hay tareas o procesos a nivel industrial que debido a sus requerimientos solo pueden ser representados con un sistema de comportamiento dinámico, tal es el caso de los sistemas de control en tiempo real.

Por tanto, se necesita de una herramienta adecuada que permita generar ese modelado, de tal manera que se integre la información y se represente la evolución de la función y la interoperabilidad entre los distintos ámbitos relacionados.

En este capítulo se parte del conocimiento de los requerimientos que existen en las empresas de fabricación, para con ellos realizar la elección de la herramienta adecuada y la forma de modelar que permita representar de forma dinámica la función objeto de este trabajo de grado.

En el siguiente apartado se genera una comparación de los sistemas inteligentes de fabricación más usados para representar los procesos actualmente en las empresas de manufactura, con la cual se pretende obtener la mejor opción para el modelado de la función de control de fabricación.

#### **3.1 SISTEMAS MULTIAGENTE VS SISTEMAS HOLÓNICOS**

Tanto los sistemas multiagente como sistemas holónicos (HS) son paradigmas adecuados para modelar los sistemas de fabricación actuales, tanto uno como otro han sido foco de atención tanto de la investigación como de la industria. En la actualidad se han intentado aclarar las diferencias filosóficas fundamentales entre los agentes y los holones. No obstante, una comparación exhaustiva de todas las propiedades de ambos paradigmas aún no ha sido analizada, pero se ha señalado que ambos enfoques difieren principalmente en la motivación [14].

La investigación del HS está motivada en las tareas de fabricación. Por consiguiente, está orientada hacia los estándares de comunicación de bajo nivel y el comportamiento de bajo nivel. Por otra parte, la investigación en el área de los sistemas multiagente (SMA) está motivada en la programación de sistemas inteligentes distribuidos. Se centra en el comportamiento social de entidades inteligentes y se ocupa principalmente de la investigación de modelos de comportamiento, estrategias de cooperación y coordinación, optimización del desempeño de tareas, aprendizaje a partir de las propias experiencias, creación de coaliciones, etc. En resumen, el SMA es un enfoque software amplio que puede ser utilizado además para el control de la fabricación distribuido [15].

Los agentes son: autónomos, sociales, reactivos, pro-activos, racionales, móviles, etc. Los holones, como paradigma, tienen las siguientes características básicas: autonomía, cooperación y reorganización.

Los resultados de la investigación que se ha realizado han demostrado que las aproximaciones basadas en agentes proporcionan ventajas encaminadas a satisfacer los requerimientos de las empresas y de los procesos de control de la manufactura como son [16]:

- Incrementar el grado de reacción de la empresa a los requerimientos de mercado,
- Involucrar a los clientes en la optimización total de la cadena de suministro,
- Realizar la optimización de la cadena de suministro por medio de la asignación efectiva de recursos,
- Conseguir la optimización dinámica de gestión de materiales e inventario,
- Incrementar la efectividad del intercambio y realimentación de la información.

Asimismo se obtiene que la tecnología de agentes y sistemas multiagente (SMA) están realizando importantes aportes en la resolución de problemas en diversos dominios (comercio electrónico, subastas electrónicas, medicina, negocios, etc.), donde aproximaciones tradicionales no proporcionan soluciones suficientemente satisfactorias [17]. En concreto, la industria de fabricación es uno de los dominios donde la tecnología de SMA proporciona una forma natural para resolver problemas que son distribuidos.

Debido a lo anterior se propone utilizar los SMA para modelar, en toda su dinámica, la función de control de fabricación del proceso de manufactura, donde cada agente ejecuta una o más subfunciones del control de fabricación y coordina sus acciones con otros agentes.

Ya definido el enfoque, se pretende seleccionar y especificar la metodología por utilizar, en los posteriores apartados se realiza un estudio del estado del arte de la aplicación de la tecnología de agentes en el área de las empresas de fabricación, además de las diversas metodologías existente en los SMA.

### **3.2 SISTEMAS MULTIAGENTE**

El estudio de Sistemas Multiagentes se inició hace cerca de 20 años, en el ámbito de la Inteligencia Artificial Distribuida (Distributed Artificial Intelligence - DAI). La DAI es un sub-campo de investigación de la Inteligencia Artificial (AI). La DAI estudia el comportamiento inteligente de grupo que se deriva a partir de la cooperación de entidades llamadas agentes. Estudia cómo un grupo de módulos cooperan para dividir y compartir el conocimiento del problema y cómo se desarrolla la solución. La DAI se centra en el comportamiento global, con un comportamiento prefijado de los agentes y estudia las técnicas y el conocimiento necesarios para la coordinación y distribución del conocimiento y las acciones en un entorno multiagente [15].

El SMA estudia la coordinación del comportamiento inteligente, estrategias de cooperación y coordinación, optimización del desempeño de tareas, formación de coaliciones entre un grupo de agentes inteligentes autónomos posiblemente pre-

existentes. Se centra en el comportamiento individual a partir del cual se deriva el comportamiento del sistema [15]. Los agentes cuentan con mecanismos de comunicación que les permiten interactuar con los otros agentes para la resolución cooperativa de problemas, para la coordinación o sincronización de acciones, para resolver conflictos con recursos, para participar en una negociación, o simplemente para enviar información. EL Agent Communication Language – ACL incluyen estándares como el Knowledge Query and Manipulation Language - KQML (Lenguaje de Manipulación y Consulta del Conocimiento) y una propuesta de FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), basado en el lenguaje Arcol - ARtimis Communication Language. Estos desarrollos son en parte rivalizados por lenguajes de etiquetado de Internet altamente sofisticados tales como XML, el cual también puede ser utilizado por agentes [15].

Como área de conocimiento permite una nueva forma de tratar y abordar sistemas reales, lo que consiste en el desarrollo de nuevas topologías de sistemas que permitan y aprovechen la interacción autónoma de agentes entre ellos y con humanos, enlazando así con la esencia más auténtica de los orígenes de la IA. Como metodología de análisis y estudio de sistemas complejos permite su caracterización a partir de las entidades individuales que los componen. Es decir, el análisis del comportamiento que emerge del sistema una vez que se ha completado las especificaciones de los agentes que participan [18].

Ejemplos de aplicación de los sistemas multiagente son múltiples. Por citar algunos de ellos se encuentran [18]:

- Control del tráfico aéreo
- Control del tráfico urbano
- Gestión hospitalaria
- Búsquedas en la web, filtros de correo
- Gestión de compras y de ventas en internet
- Gestión del conocimiento
- Simulación de operaciones militares
- Industria aeroespacial
- Resolución de conflictos internacionales, etc.

En la Tabla 5 se presenta una descripción muy básica de los SMA en la cual, se define las características del agente, el tipo de arquitectura y metodologías que se puede encontrar y los protocolos de comunicación que utilizan estos sistemas.



Tabla 5: Descripción de los sistemas multiagentes.

SISTEMAS MULTIAGENTES	
<b>AGENTES</b>	<p>Un agente es un sistema computacional autónomo y flexible, que es capaz de actuar en un entorno flexible [15]. Algunas propiedades que son atribuidas usualmente a los agentes en mayor o menor grado para resolver problemas particulares son:</p>
	<p><b>Autonomía</b></p> <p>El comportamiento de las entidades autónomas puede estar basado tanto en sus experiencias propias así como en el conocimiento interno utilizado en la representación de las entidades del entorno particular en el cual actúa, capaces de controlar y monitorizar la ejecución de sus propios planes y/o estrategias, y de tomar acciones correctivas en contra de su propio malfuncionamiento.</p>
	<p><b>Pro-actividad</b></p> <p>Los agentes no actúan simplemente en respuesta a una petición, son capaces además de exhibir comportamiento dirigido por objetivos tomando la iniciativa [15]. Cuando uno escribe un procedimiento tal, uno lo describe en términos de su pre y su post-condiciones. Los efectos del procedimiento son sus objetivos.</p>
	<p><b>Habilidad Social</b></p> <p>Ya que los agentes no actúan usualmente aislados, sino en presencia de otros agentes o humanos, necesitan de habilidades sociales y comportamiento interactivo para comunicarse, cooperar, coordinarse y negociar con ellos, gracias a los lenguajes de comunicación de agentes (Agent Communication Language - ACL).</p>
	<p><b>Racionalidad</b></p> <p>Un agente racional es uno que hace lo correcto, es decir una acción que causa que el agente sea el más exitoso. Las acciones que un agente ejecuta pueden ser entendidas como sus objetivos. La racionalidad indica que agente actuará para lograr sus objetivos y no actuará de tal manera que sus objetivos no puedan ser alcanzados al menos en la medida que sus creencias se lo permitan. Un agente racional actúa de acuerdo con la secuencia de percepciones, lo que el agente conoce acerca de su entorno, y las acciones que el agente puede realizar. Estas tres cosas determinarán el éxito del agente [15].</p>
	<p><b>Actitudes Mentales</b></p> <p>Ha sido propuesto un número de enfoques para especificar agentes racionales en término de actitudes mentales tales como conocimiento, creencias, deseos, objetivos, acuerdos, e intenciones. Sin embargo, no existe un consenso acerca de precisamente qué combinación de actitudes mentales es más adecuada para caracterizar a los agentes. No obstante, parece ser aceptado, por la mayoría, que las creencias deberían ser tomadas como una de las nociones básicas de la teoría de agentes [18].</p>

Tabla 5 (Continuación).

	<b>Benevolencia</b>	La propiedad de benevolencia es aquella por la cual el agente coopera con otros agentes cuando y donde sea posible. La benevolencia ciega no tiene lugar en el modelado de agentes autónomos para los cuales la cooperación ocurrirá sólo cuando sea considerada ventajosa en término de motivaciones [15]. El agente no puede gastar todo su tiempo en nuevas cooperaciones con otros agentes, sin tener en cuenta sus acuerdos actuales y motivaciones.
<b>ARQUITECTURAS DE AGENTES</b>	La arquitectura es una metodología particular para construir Agentes. Ésta especifica cómo puede descomponerse un Agente en un conjunto de módulos y cómo deben interactuar estos módulos. Una arquitectura abarca técnicas y algoritmos que soportan esta metodología. Dentro de las arquitecturas se pueden encontrar las siguientes:	
	<b>Arquitecturas BDI</b>	Aquí se observa al sistema como un Agente racional, que posee ciertas aptitudes mentales como las creencias, el deseo y la intención (BDI), representando, respectivamente, la información motivacional y los estados deliberativos de los Agentes. Estas aptitudes mentales determinan el comportamiento del sistema y es crítico para el conocimiento adecuado o el óptimo desempeño [17].
	<b>Otras arquitecturas</b>	De razonamiento deductivo. De razonamiento práctico. Reactivas. Híbridas. Deliberativas.
<b>METODOLOGÍAS</b>	A continuación se definen las metodologías y arquitecturas que sirvieron de base para realizar la comparación y selección, orientadas al diseño de Agentes que escoger para este trabajo. Las principales aproximaciones para el diseño de sistemas Multiagente son:	
	<b>MAS Common KADS</b>	Es la metodología evolucionada de commonKADS que ha sido orientada a la construcción de sistemas multiagente; esta metodología incorpora la técnica de casos de uso en el ciclo de vida de CommonKADS, además de proponer modelos para el desarrollo de sistemas multiagente como modelo de agente, modelo de organización, modelo de tareas, modelo de la experiencia, modelo de comunicación, modelo de coordinación, modelo de diseño [17].
	<b>GAIA</b>	En este método, el objetivo del análisis consiste en comprender el sistema y su estructura, sin referenciar ningún aspecto de implementación, a través de la idea de organización. Una organización en GAIA, es una colección de roles, los cuales mantienen ciertas relaciones con otros y toman parte en patrones institucionalizados de interacción con otros roles. Esta metodología sólo busca especificar cómo una sociedad de Agentes colabora para alcanzar los objetivos del sistema y qué se requiere de cada uno para lograr esto último [19].

Tabla 5 (Continuación).

<b>METODOLOGÍAS</b>	<b>ZEUS</b>	<p>Este método consta del análisis, diseño y actividades de realización, y además añade instalaciones de soporte en tiempo de ejecución, que permiten que el desarrollador depure y analice su puesta en funcionamiento Multi-Agente colaborativas. Construye aplicaciones que proveen un entorno integrado para el desarrollo rápido de sistemas.</p> <p>La herramienta ZEUS consiste en un conjunto de componentes escritos en lenguaje de programación Java, que puede ser categorizada en tres grupos funcionales o librerías [20].</p>
	<b>MESSAGE</b>	<p>Es una metodología que consiste en guías de aplicación, una notación de modelado que extiende Lenguaje Unificado de Modelado (UML) para tratar conceptos de agentes, y un proceso para análisis y diseño basado en el Proceso Unificado de Racional (RUP). La notación de modelado de MESSAGE extiende notaciones UML para conceptos clave propios de agentes. MESSAGE se centra en la fase de análisis, presenta cinco modelos, los cuales capturan diferentes aspectos de un sistema basado en agentes. Los cinco modelos son: Modelo de organización, modelo de meta/tarea, modelo de agente/rol, modelo de dominio (información), modelo de interacción [19].</p>
	<b>Prometheus</b>	<p>Es una metodología iterativa que cubre el proceso completo de ingeniería de software y dirigido al desarrollo de agentes inteligentes (en particular agentes BDI) usando metas, creencias, planes, y eventos, resultando en una especificación que puede ser implementada con JACK, con lo que cubre tres fases como son la especificación del sistema, diseño arquitectural, y diseño detallado. Describe cada agente y la forma en que logran sus metas dentro del sistema, define capacidades (módulos dentro del agente), eventos internos, planes, y estructuras de datos detalladas [19].</p>
	<b>MaSE</b>	<p>MaSE (Multi-agent systems Software Engineering) parte del paradigma orientado a objetos y asume que un agente es sólo una especialización de un objeto. La especialización consiste en que los agentes se coordinan unos con otros vía conversaciones y actúan proactivamente para alcanzar metas individuales y del sistema. En MaSE los agentes son sólo una abstracción conveniente, que puede o no poseer inteligencia. El análisis en MaSE consta de tres pasos: capturar los objetivos, capturar los casos de uso y refinar roles [17].</p>
	<b>INGENIAS</b>	<p>Esta se desarrolla a partir de la metodología MESSAGE, y como ésta define un conjunto de meta-modelos (una descripción de alto nivel de qué elementos tiene un modelo) con los que hay que describir el sistema. Los meta-modelos indican qué hace falta para describir: agentes aislados, organizaciones de agentes, el entorno, interacciones entre agentes o roles, tareas y objetivos [19].</p> <p>La ejecución de actividades para producir modelos se basa en la herramienta INGENIAS IDK, una herramienta para el modelado visual. Esta herramienta almacena la especificación del sistema utilizando XML [17].</p>

Fuente: Propia, Marzo 2010.

### **3.3. SISTEMAS MULTIAGENTE: APROXIMACIÓN PARA MODELAR SISTEMAS DE FABRICACIÓN**

Las técnicas de Inteligencia Artificial han sido utilizadas en la Fabricación Inteligente desde hace más de 20 años. Sin embargo, los desarrollos recientes en el área de sistemas multiagentes han proporcionado nuevos e interesantes resultados de especial interés en esta área.

Un sistema multiagente de control de fabricación usualmente requiere del uso de técnicas especiales de razonamiento y coordinación. Dependiendo de los objetivos de la producción y los tipos de procesos de producción, pueden ser necesarias diferentes arquitecturas de control y estrategias a fin de controlar de manera óptima el proceso de fabricación.

#### **3.3.1 Aproximaciones basadas en agente para modelar empresas de fabricación**

Los requerimientos de un sistema de fabricación actual descritos anteriormente requieren destrezas de fabricación descentralizada cuyos diseño, implementación, reconfiguración y viabilidad de fabricación permite la integración de los estados de producción en una red colaborativa dinámica. Tales destrezas pueden ser conseguidas por medio de aproximaciones basadas en agentes, Agent Manufacturing (AM), compartiendo el conocimiento, lo cual no es un campo de investigación con una visión única. Es más bien una colección de trabajos que propone mejorar el control existente en la infraestructura de las industrias con la ayuda de técnicas orientadas a agentes. A continuación se describen algunos proyectos de este dominio.

La primera aplicación de técnicas de modelado y coordinación orientadas a agentes para el control en la fabricación fue el prototipo de sistema de control de fábrica YAMS. En YAMS, la empresa de producción es modelada como una jerarquía de unidades de producción, llamadas estaciones de trabajo o celdas de trabajo [15].

Algunos trabajos en AM se han concentrado en un aspecto del control de producción presentando un algoritmo de coordinación para las tareas de asignación de recursos y transporte. Como en YAMS, las tareas se anuncian a las unidades de transporte. A diferencia de YAMS, estas unidades realizan sólo un análisis local de la tarea y devuelven el resultado del análisis a un coordinador. El coordinador luego sintetiza los resultados en una asignación de recursos global.

Muchos de los trabajos en AM se han centrado en desarrollar soluciones novedosas para la parte de procesamiento de la información de una infraestructura existente, como sistemas de producción flexibles. Sin embargo, el mayor potencial para conceptos como SMA no se encuentra sólo dentro del procesamiento de la información, sino que se busca llevar a un enfoque completamente nuevo para la producción en general, tal como se lleva a cabo en los Sistemas Holónicos de Fabricación.

El proyecto SHADE estaba fundamentalmente interesado en aspectos retroalimentación de información de ingeniería concurrente. Más que intentar modelar el proceso se diseño para proporcionar una infraestructura completa para prever colaboración por medio de máquina, basada en el conocimiento entre herramientas de ingeniería dispares [21].

En SHARE se trataba sobre el desarrollo de entornos abiertos, heterogéneos, basados en redes para ingeniería concurrente. Utiliza un amplio rango de tecnologías de intercambio de información para ayudar en la colaboración de ingenieros y diseñadores en dominios mecánicos.

FIRST-LINK es un sistema de agentes semiautónomos de ayuda a especialistas en un aspecto del problema de diseño. NEXT-LINK es una continuación del proyecto FIRST-LINK para comprobar la coordinación de agentes. Process-Link, continuación de NEXT-LINK, proporciona integración, coordinación y gestión de proyecto de servicios y herramientas CAD distribuidas que interactúan en un gran proyecto [22].

MADEFAST es un proyecto financiado por DARPA DSO de demostración de tecnología desarrollado en el marco del ARPA MADE (Manufacturing Automation and Design Engineering). MADE es un programa DARPA DSO de larga duración para el desarrollo de herramientas y tecnologías que proporcionen soporte cognitivo al diseñador [22].

Los anteriores proyectos mencionados que se enfocan en el control de fabricación no fueron orientados hacia la integración empresarial a diferencia de este trabajo de grado que pretende además de realizar las tareas pertinentes a la función de control de fabricación, la integración con los diferentes niveles de gestión.

Con base en lo anteriormente mencionado se define en el siguiente apartado la metodología por utilizar para realizar el modelado de la función de control de fabricación.

### **3.4 SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA POR UTILIZAR.**

Partiendo de los requisitos funcionales del Control de Fabricación se ha hecho un viaje por las metodologías de agentes más importantes para la implementación de SMA. Durante todo el análisis de las metodologías se evalúan las características favorables que se obtienen con las distintas metodologías para modelar de forma dinámica la función; como se ha dicho en [23] no es fácil elegir una metodología y menos si no se tiene un conocimiento en el diseño de sistemas pero se puede hacer una comparación rápida para la selección, teniendo en cuenta:

- Si se está acostumbrado a trabajar con sistemas basados en conocimientos, se debería elegir MAS-CommonKADS.
- Si la experiencia del usuario está en el área de los objetos, la recomendación es MaSE.
- Si se está interesado en el enfoque orientado a agentes, puede seleccionar ZEUS, INGENIAS, BDI o GAIA.
- Si lo que se quiere es tener un soporte de herramientas, la lista se reduce a ZEUS, MaSE e INGENIAS.
- En los casos que se requiera un proceso de desarrollo robusto, detallado y en desarrollos reales, se debería tomar MAS-CommonKADS o INGENIAS.
- Si sólo interesa una visión superficial del sistema, sin entrar en detalles de diseño e implementación, se recomendaría GAIA.

De acuerdo con la comparación de la diferentes metodologías y a la recopilación de información acerca de los enfoques basados en agentes que han surgido para el modelado de ámbitos o aéreas de la empresa se ha llegado a la selección de la metodología INGENIAS desarrollada en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) por el grupo GRASIA [17], la metodología hace cumplimiento de los requisitos funcionales del Control de Fabricación, los cuales definen que los sistemas de control de fabricación son sistemas grandes, complejos, que son diseñados para desempeñar una tarea claramente definida en un ambiente estandarizado y bien estructurado; también provee un protocolo de comunicación que facilita que los agentes de fabricación cooperen a fin de lograr los objetivos globales de fabricación y permite modelar características del agente de producción como la cooperación y su carácter semi-autónomo [24]. Para comprender de forma más clara lo mencionado anteriormente se presentan los requisitos necesarios para obtener un control de fabricación adecuado y cómo INGENIAS se adapta a cada uno de ellos.

**Requisito I:** *Los sistemas de control de fabricación requieren agentes semiautónomos.*

*Los agentes deben razonar sobre el comportamiento del sistema de fabricación, pero no sobre sus propias actitudes mentales o aquellas de otras unidades de control.*

Este requisito no niega la creación de categorías mentales dentro de un agente, como las intenciones, interacciones, objetivos. Únicamente establece que el agente no tiene que razonar acerca de ellos.

**Requisito II:** *Las unidades de control de fabricación principalmente requieren de un comportamiento basado en rutinas que es al mismo tiempo efectivo y oportuno. Este comportamiento puede ser tanto configurable.*

Este segundo requisito trata del tipo de comportamiento que la unidad de control debe exhibir. Las unidades de control de producción están continuamente enfrentadas a alto grado de eventos repetidos que son conocidos, pero impredecibles. Este flujo de eventos debe ser manejado de manera efectiva y dentro de limitaciones temporales.

También es necesario de tener en cuenta los siguientes requisitos

**Requisito III:** *Los métodos de programación deben proveer encapsulación de datos y procesos.*

**Requisito IV:** *Los programas de control deben tener una semántica clara.*

Como se mencionó anteriormente entre las características que motivaron a seleccionar INGENIAS como metodología base citamos cómo esta enfrenta los requisitos funcionales mencionados:

- INGENIAS presenta una perfecta adecuación de a los requisitos I, III y IV gracias a que emplea las aproximaciones buscadas gracias a los distintos meta-modelos y propiedades de la metodología que se debe seguir para obtenerlos.
- La adecuación de INGENIAS al requisito II, con su enfoque de identificación y modelado de características de tiempo real.

Además otras características de INGENIAS por las que se seleccionó son:

- Es una metodología completa que soporta todo el ciclo de vida de un SMA y se centra en la fase de diseño detallado para dominios con características de tiempo real.
- Provee algunas consideraciones que se deben tener en cuenta para sistemas de Control de Fabricación como son mecanismos de traducción de tareas de control, sobre un recurso de fábrica, o de funcionalidades de la fábrica a entidades con comportamiento autónomo.
- Procesos de desarrollo mixto que integra los enfoques arriba-abajo o de abajo-arriba y mecanismos que permitan llevar a cabo procesos de análisis y diseño por capas de abstracción [17].
- Utiliza *meta-modelos* que generan especificaciones de SMA lo suficientemente estructuradas para ser procesadas de forma automática. Así, se puede plantear la verificación automática de la construcción de los modelos para ver si cumplen restricciones identificadas por el diseñador,
- Genera documentación del sistema en diferentes formatos de diferentes partes de los modelos, e incluso establecer la generación automática de código desde los requisitos del SMA en los modelos.

Para terminar, es importante destacar que la metodología INGENIAS viene, además, acompañada por una herramienta para el modelado visual, el INGENIAS Development Kit (IDK). Mediante esta herramienta, es posible la construcción de todos los modelos que se precisan de acuerdo con la metodología y una notación definida que facilita su ampliación y la verificación de los modelos generados, e incluye un generador automático de código capaz de devolver código en XML y HTML, con lo que se considera INGENIAS adecuada para el modelado que es el objetivo de este trabajo porque emplea modelos conceptuales para el modelado de SMAs aceptados ampliamente en la literatura especializada.

A continuación se da una descripción de lo que es la metodología INGENIAS; para obtener una información más completa puede remitirse a [17].

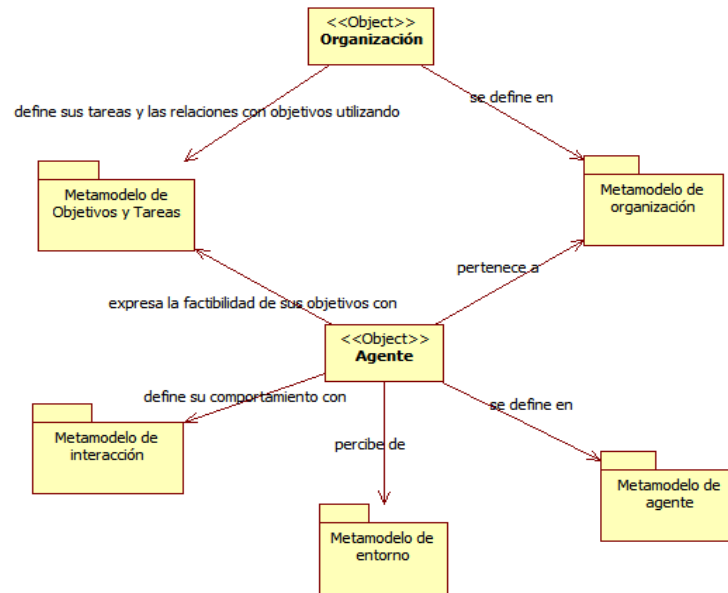
### **3.5 METODOLOGÍA INGENIAS**

INGENIAS es una metodología de desarrollo de SMA, concibe el SMA como la representación computacional de un conjunto de modelos. Cada uno de estos modelos muestra una visión parcial del SMA: los agentes que lo componen, las interacciones que existen entre ellos, cómo se organizan para proporcionar la funcionalidad del sistema, qué información es relevante en el dominio y cómo es el entorno en el que se ubica el sistema por desarrollar. Para presentar estas 'vistas', INGENIAS define un conjunto de meta-modelos (esto es, una descripción de alto nivel de qué elementos tiene un modelo: entidades, relaciones y restricciones) que comprenden toda la información que se debe tener en cuenta al especificar un SMA [17]. Existen un total de cinco meta-modelos definidos en INGENIAS que giran en torno a dos entidades: la *organización* y el *agente*; en la Figura 18 se muestra la relación de estos meta-modelos.

Estos meta-modelos se construyen mediante un lenguaje de meta-modelado, el GOPRR (Graph, Object, Property, Relationship, and Role). En la construcción de estos meta-

modelos se integran resultados de investigación en forma de entidades y relaciones entre entidades. La instanciación de estos meta-modelos produce diagramas, los modelos, similares a los que se usa en UML, con la diferencia de que estos diagramas se han creado exclusivamente para definir el sistema multi-agente.

Figura 18: Relación entre los meta-modelos de INGENIAS.



Fuente: Modelado de sistemas multi-agente, 2002.

### 3.5.1 Nomenclatura

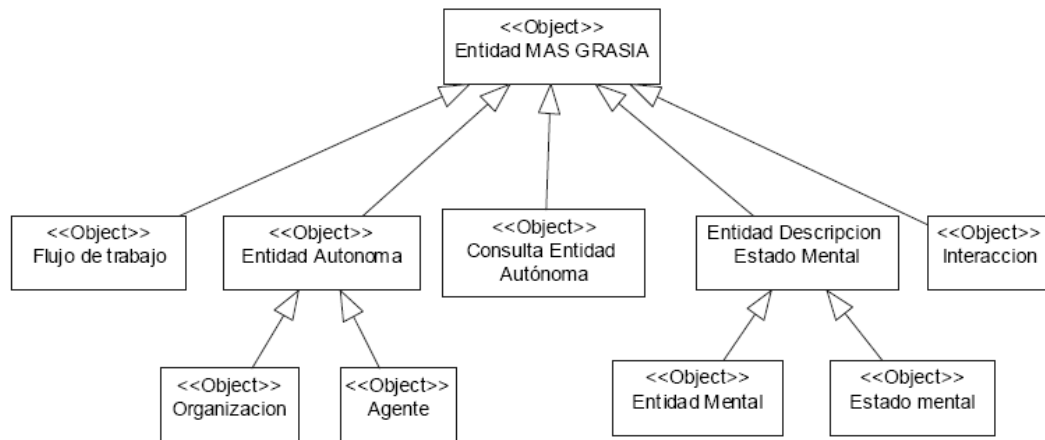
El nombre asociado a las relaciones obedece a unas reglas sencillas mostradas. Se trata de hacer que el nombre de la relación sea precedido por un conjunto de letras que denote su procedencia, como el flujo de trabajo (WF), meta-modelo de agente (A), interacción (I), unidad de interacción (UI), modelos de tareas y objetivos (GT), relaciones sociales (AGO), organización (O) o el entorno (E) [17].

### 3.5.2 Entidades básicas

La metodología proporciona una jerarquía de conceptos básicos para el desarrollo de un SMA así como una notación para representar estos conceptos (Figura 19). La jerarquía comienza con la Entidad MAS GRASIA y la Relación MAS GRASIA, que reciben este nombre por el grupo de investigación en que han sido desarrolladas (**GR**upo de **Ag**entes **S**oftware del departamento de **S**istemas **I**nformáticos y **progrA**mación o GRASIA) [17].



Figura 19: Entidades básicas de la metodología.



Fuente: Modelado de sistemas multi-agente, 2002.

### 3.5.3 Notación

Para la representación de los metamodelos se utilizan una notación desarrollada *ad hoc* con la herramienta METAEDIT. Por lo tanto para entender los diagramas se debe revisar antes la notación de la Tabla 6.

Tabla 6: Notación metodología INGENIAS.









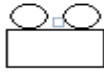


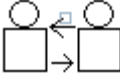
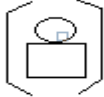
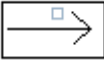




<b>Goal0</b> 	<b>Objetivo.</b> Se etiqueta con el nombre del objetivo
<b>Role0</b> 	<b>Rol.</b> Se etiqueta con el nombre del rol.
<b>MentalStateProcessor0</b> 	<b>Procesador de estado mental.</b> Se etiqueta con el nombre del procesador.
<b>MentalStateManager0</b> 	<b>Gestor de estado mental.</b> Se etiqueta con el nombre del gestor.
<b>Agent0</b> 	<b>Agente.</b> Se etiqueta con el nombre del agente.
<b>FrameFact0</b> 	<b>Hecho.</b> Se etiqueta con el nombre del hecho y los nombres de los slots identificados.

Tabla 6 (Continuación).

<p style="text-align: center;"><b>Believe0</b></p> 	<p><b>Creencia.</b> Se etiqueta con el nombre de la evidencia e información acerca de qué es lo que se está aceptando como cierto.</p>
<p style="text-align: center;"><b>GeneralEvent0</b></p> 	<p><b>Evento.</b> Se etiqueta con el nombre del evento y los nombres de los slots identificados.</p>
<p style="text-align: center;"><b>OrganizationGroup0</b></p> 	<p><b>Grupo.</b> Se etiqueta con el nombre del grupo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Organization0</b></p> 	<p><b>Organización.</b> Se etiqueta con el nombre de la organización.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Plan0</b></p> 	<p><b>Flujo de trabajo.</b> Se etiqueta con el nombre del flujo.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Interaction0</b></p> 	<p><b>Interacción.</b> Se etiqueta con el nombre de la interacción y su naturaleza, como coordinación, planificación o negociación.</p>
<p style="text-align: center;"><b>ConcreteAgent0</b></p> 	<p><b>Consulta de entidades autónomas.</b> Se etiqueta con nombres concretos de agentes existentes o expresiones que denotan agentes existentes.</p>
<p style="text-align: center;"><b>InteractionUnit0</b></p> 	<p><b>Unidad de interacción.</b> Se etiqueta con el nombre de la unidad y el acto del habla al que hace referencia, como <i>request</i>, <i>inform</i>, o <i>not-understood</i>.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Task0</b></p> 	<p><b>Tarea.</b> Se etiqueta con el nombre de la tarea.</p>
<p style="text-align: center;"><b>EnvironmentApplication0</b></p> 	<p><b>Aplicación.</b> Se etiqueta con el nombre de la aplicación y las operaciones soportadas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Resource0</b></p> 	<p><b>Recurso.</b> Se etiqueta con el nombre del recurso, la cantidad disponible del mismo, el límite inferior y superior admisible. Por debajo o encima de estos límites, el recurso se deshabilita.</p>
<p style="text-align: center;"><b>TextUseCase0</b></p> 	<p><b>Casos de uso asociados al sistema</b></p>

Fuente: Modelado de sistemas multi-agente, 2002.

### 3.5.4 Meta-modelos del sistema multi-agente

Un meta-modelo define las primitivas y las propiedades sintácticas y semánticas de un modelo. A diferencia de otros enfoques más formales, los meta-modelos están orientados a la generación de representaciones visuales de aspectos concretos del sistema de forma incremental y flexible. Los modelos crecen incorporando más detalle gracias a que no es necesario que se instancien absolutamente todos los elementos del meta-modelo para tener un modelo. Como ha demostrado UML, construido también con meta-modelos, este tipo de notación facilita enormemente el desarrollo de sistemas.

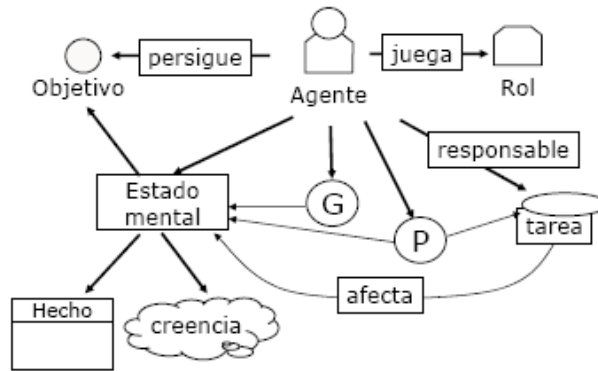
Otra ventaja de utilizar meta-modelos es que las especificaciones generadas de SMA son lo suficientemente estructuradas para ser procesadas de forma automática. Así, se puede plantear la verificación automática de la construcción de los modelos para ver si cumplen restricciones identificadas por el desarrollador, generar documentación del sistema en diferentes formatos de diferentes partes de los modelos, e incluso establecer la generación automática de código desde la información recogida en los modelos [19].

**3.5.4.1 Meta-modelo de agente:** Describe agentes particulares y los estados mentales en que se encontrarán a lo largo de su vida.

El meta-modelo de agente se usa para describir agentes particulares excluyendo las interacciones con otros agentes. Este meta-modelo se centra en la funcionalidad del agente y en el diseño de su control (ver Figura 20). En este sentido, proporciona información acerca de los siguientes aspectos:

- Descripción de agentes particulares
- Funcionalidad del agente: Responsabilidades
- Qué tareas sabe ejecutar
- Qué objetivos se compromete a alcanzar
- Roles que puede desempeñar
- Comportamiento: Control del agente
- Estado mental
- Agregación de entidades mentales: objetivos, creencias, compromisos, hechos
- Gestión de estado mental
- Creación, destrucción, modificación de las entidades del estado mental
- Mecanismo de decisión: procesador de estado mental
- Reglas, planificación, etc.

Figura 20: Diagrama del modelo de agente.

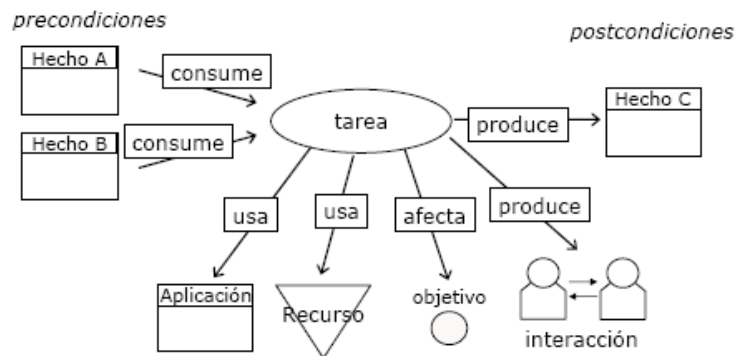


Fuente: Aplicación de metodologías al desarrollo de sistemas multi-agente, 2007.

**3.5.4.2 Meta-modelo de tareas y objetivos:** Se usa para asociar el estado mental del agente con las tareas que ejecuta (ver Figura 21) además tiene en cuenta:

- Qué consecuencias tiene la ejecución de tareas y por qué se deberían ejecutar
- Justifica la ejecución de tareas basándose en objetivos
- Que a su vez se van modificando tras su ejecución
- Objetivo: Situación deseada
- Conjunto de estados que el agente quiere lograr, mantener, o evitar
- Una función de utilidad que maximizar
- Responde a ¿por qué?
- Tarea: Transiciones de estado
- Conduce a la consecución de objetivos
- Responde a ¿cómo?

Figura 21: Elementos de definición de tareas.



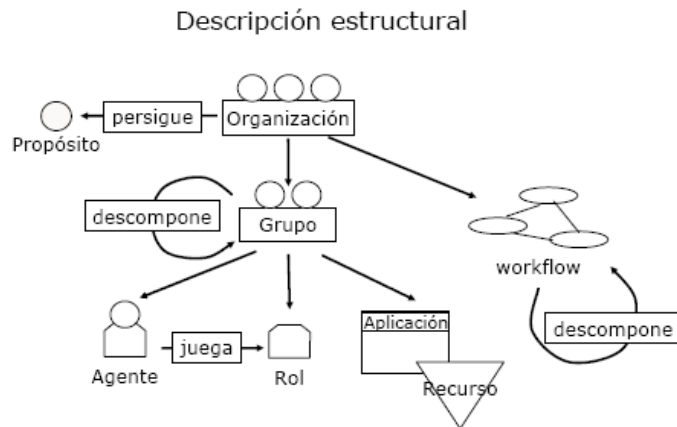
Fuente: Aplicación de metodologías al desarrollo de sistemas multi-agente, 2007.

**3.5.4.3 Meta-modelo de organización:** Define cómo se agrupan los agentes, la funcionalidad del sistema y qué restricciones hay que imponer sobre el comportamiento de los agentes.

La organización define una estructura donde van a existir los agentes, recursos, tareas y objetivos (ver Figura 22) la cual se descompone en:

- Grupos
- Flujos de trabajo
- Interrelación de tareas en flujos de trabajo
- Relaciones entre agentes respecto a las tareas
- Recursos disponibles y asignación
- Relaciones sociales
- Relaciones de poder (p.ej. subordinación) y cliente/servidor entre agentes
- Relaciones entre grupos
- Relaciones entre organizaciones
- Funcionalidad
- Propósito
- Tareas que debe realizar

Figura 22: Descripción estructural.



Fuente: Aplicación de metodologías al desarrollo de sistemas multi-agente, 2007.

**3.5.4.4 Meta-modelo de interacción:** Detalla cómo se coordinan y comunican los agentes mediante el intercambio de conocimiento o peticiones (intencionalidad) entre agentes.

Se construye sobre: agentes, roles, objetivos, interacciones y unidades de interacción.

- Los agentes y los roles son los actores de las interacciones.
- En las interacciones se ejecutan unidades de interacción (paso de mensajes, lectura y escritura en un espacio de tuplas) en las que hay un iniciador (emisor) y colaboradores (receptores), mediante la generación de diagramas de colaboración de UML o diagramas GRASIA.

- Se justifica la participación de los actores en la interacción y la existencia de la interacción en sí mediante objetivos.

**3.5.4.5 Meta-modelo de entorno:** Define qué existe alrededor del nuevo sistema y cómo lo percibe cada agente, tomando las entidades del entorno del SMA con las que vaya a interactuar.

Permite definir los recursos con los que trabajará el SMA, y las aplicaciones o sistemas con los que interactuará.

#### **Recursos**

Elementos consumibles o no consumibles:

Descriptores de ficheros, hilos de ejecución, memoria, dispositivos de E/S, sockets, ancho de banda, etc.

#### **Aplicaciones**

Uso más complejo, por medio de alguna interfaz, se pueden ver como objetos o como agentes.

#### **Agentes**

Satisfacen el principio de racionalidad.

El proceso de instanciación de los meta-modelos (esto es, la producción de los diagramas o modelos que representan cada una de las vistas de un SMA particular) no es trivial, ya que existen muchas entidades y relaciones por identificar, además de dependencias entre distintos modelos. Por ello, INGENIAS define un conjunto de actividades en el proceso de desarrollo de software cuya ejecución termina en la especificación final del SMA. Estas actividades están organizadas de acuerdo con las relaciones entre los meta-modelos de INGENIAS con los elementos que incorpora la metodología *Rational Unified Process* (RUP).

#### **4. MODELO DINÁMICO DE LA FUNCIÓN DE CONTROL DE FABRICACIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA INGENIAS PARA SISTEMAS MULTIAGENTES.**

En este capítulo se describe cómo modelar los aspectos dinámicos del Control de fabricación usando la metodología INGENIAS. Los temas que se cubren son la secuencia que se siguió para desarrollar los modelos con los cuales se obtiene el sistema multiagente que representa la función, junto con la explicación de cada uno de los diagramas o actividades y la forma como se alcanzan la estructura y dinámica del modelo completo.

La metodología INGENIAS se define mediante meta-modelos; éstos son una gran ayuda en el proceso de desarrollo de SMA, ya que determinan qué entidades tienen que existir y cómo deben conectarse. Desde el punto de vista de ingeniería, lo que interesa de los meta-modelos, además de servir de guía, es cómo pueden ayudar a estructurar el desarrollo de SMA. Para estudiar la aplicación de los meta-modelos a procesos de ingeniería, se han tomado los meta-modelos como lenguaje de especificación del SMA. Partiendo de este lenguaje se estudian qué actividades y productos son necesarios para generar los modelos que constituyen la especificación del sistema.

El proceso seguido inicia con los casos de uso, identificados a partir del diagrama de flujo de la función, detallado en el capítulo II, para continuar con los modelos de agente, objetivos/tareas, interacción, organización y, finalmente, entorno.

##### **4.1 CASOS DE USO**

Un caso de uso proporciona uno o más escenarios que indican cómo debería interactuar el sistema con el usuario o con otro sistema para conseguir un objetivo específico [24]; para la identificación de los casos de uso de la función de control de fabricación se partió de las subfunciones asociadas a dicha función; en la Tabla 7 se presenta la relación entre los casos de uso y las subfunciones; en la Figura 23 se presenta los casos de uso utilizando la herramienta IDK; además se pueden distinguir los actores principales que interactúan con la función.

Tabla 7: Casos de uso asociados a funciones.

<b>Casos de uso</b>	<b>Subfunciones Asociadas</b>
Administración de la orden de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceptación de la orden de trabajo</li> <li>• Modificación / Anulación de la orden</li> <li>• Continuación de la orden</li> <li>• Reportar datos de producción y de proceso</li> <li>• Administración de la orden</li> </ul>
Lanzamiento de órdenes de fabricación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferta de capacidad</li> <li>• Ocupación de la capacidad</li> <li>• Curva de carga y previsión de carga</li> <li>• Planeación de la secuencia de trabajo</li> <li>• Asignación de las órdenes</li> </ul>
Lanzamiento de órdenes de materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administración del material circulante</li> <li>• Solicitud de material</li> <li>• Establecimiento de la distribución de transporte</li> </ul>
Activación de trabajos de conservación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Activación de trabajos de conservación</li> </ul>

Tabla 7 (Continuación).

Control de capacidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de capacidad</li> <li>• Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad</li> </ul>
Recopilación de datos del nivel de dirección de proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad</li> <li>• Tratamiento de aviso de perturbaciones</li> <li>• Llevar cuentas de salarios y costos de producción</li> </ul>
Corrección de perturbaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrección de perturbaciones</li> </ul>
Supervisión de la orden y la calidad del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisión de la orden de trabajo</li> <li>• Supervisión de la calidad del producto</li> </ul>
Reportar datos a otros ámbitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportar el balance y pérdida de producto a contabilidad de costo de producto</li> <li>• Reportar en inventario a PPC</li> <li>• Reportar datos de producción y de proceso</li> </ul>
Comunicación con los ámbitos del nivel de dirección de taller	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No tiene funciones asociadas</li> </ul>
Comunicación de datos del nivel de dirección de proceso	

Fuente: Propia, Abril 2010.

Para la realizar una descripción más detallada de los casos de uso es necesario identificar las precondiciones y poscondiciones asociadas a cada caso de uso; las precondiciones son un conjunto de condiciones que deben ser ciertas antes de iniciar el caso de uso. Es muy común que la precondición sea el resultado exitoso de un caso de uso anterior [24]; las poscondiciones indican el estado final de las cosas después de que el caso de uso termine exitosamente a través de cualquiera de sus flujos. No son acciones del sistema sino resultados de acciones [24]. En la

Tabla 8 se presentan las precondiciones y poscondiciones para el caso de la función de control de fabricación.

Tabla 8. Casos de uso asociados a las precondiciones y poscondiciones.

Casos de uso	Precondiciones	Poscondiciones
Administración de la orden de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La orden de trabajo.</li> <li>• Los datos para fabricación del nivel de dirección de taller.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Órdenes de fabricación.</li> <li>• Establecimiento de la carga.</li> <li>• Órdenes de material y transporte.</li> <li>• Órdenes de movimiento de materiales.</li> </ul>
Lanzamiento de ordenes de fabricación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Órdenes de fabricación</li> <li>• Establecimiento de la carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secuencia de trabajo</li> <li>• Configuración de taller</li> <li>• Asignación de las órdenes</li> </ul>
Lanzamiento de ordenes de materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Órdenes de material y transporte.</li> <li>• Órdenes de movimiento de materiales.</li> <li>• Secuencia de trabajo</li> <li>• Asignación de las órdenes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia de materiales</li> <li>• Orden de almacén</li> <li>• Orden de transporte</li> </ul>



Tabla 8 (Continuación).

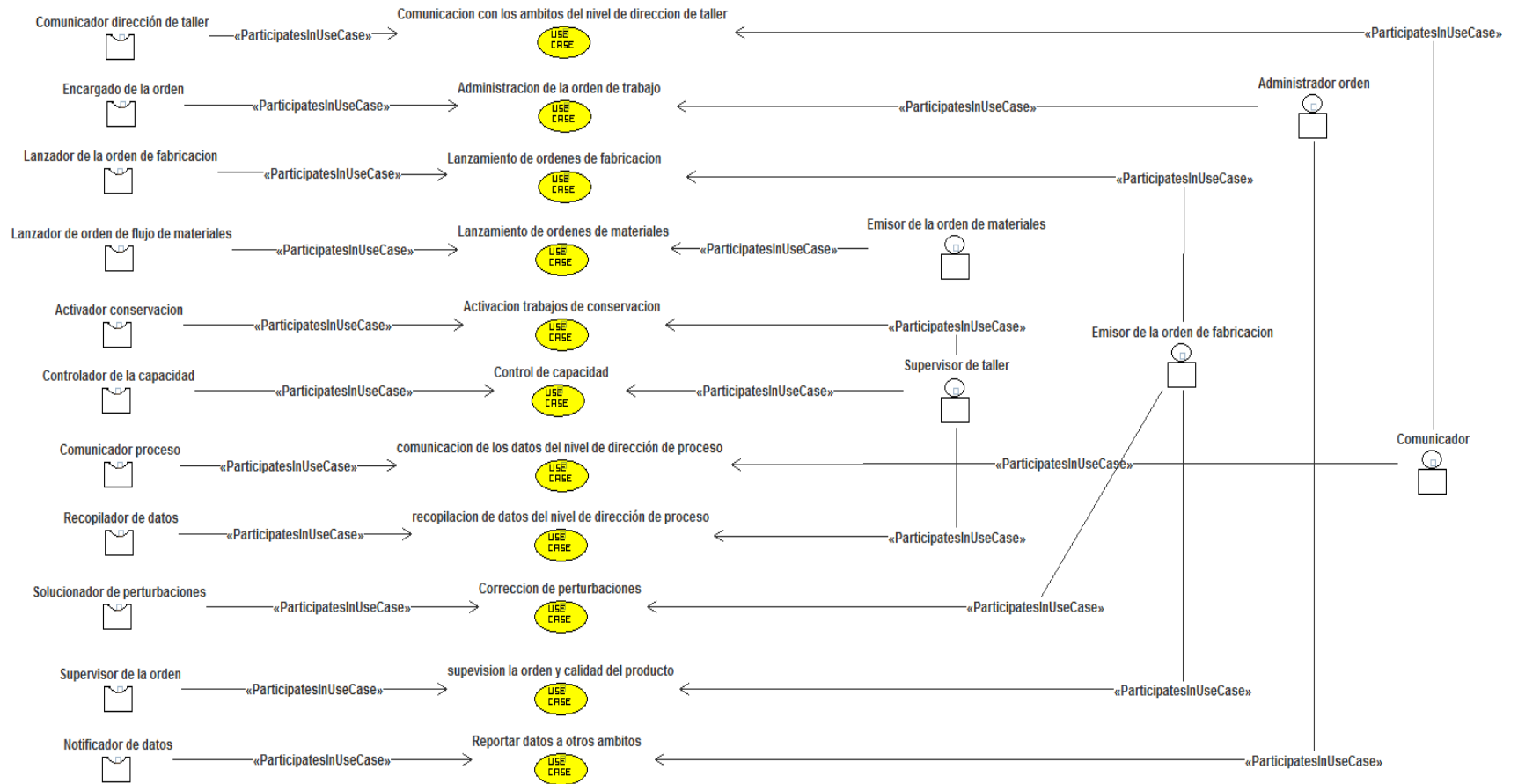
Activación de trabajos de conservación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pseudo orden</li> <li>• Necesidades de mantenimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos básicos</li> </ul>
Control de capacidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Configuración de taller</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad necesaria</li> </ul>
Recopilación de datos del nivel de dirección de proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de estado del nivel de proceso</li> <li>• Existencia de materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de estado para la supervisión</li> <li>• Capacidad desarrollada</li> </ul>
Corrección de perturbaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamiento de aviso de perturbaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrección de perturbaciones de materiales</li> <li>• Corrección de perturbaciones en la fabricación</li> <li>• Corrección en maquinaria y equipo</li> <li>• Notificación de inconvenientes</li> </ul>
Supervisión de la orden y la calidad del producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Progreso de la fabricación</li> <li>• Datos de estado de la fabricación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retroaviso de la orden de fabricación</li> <li>• Desempeño de la producción</li> <li>• Unidades producidas</li> </ul>
Reportar datos a otros ámbitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retroaviso de la orden de fabricación</li> <li>• Retroaviso del movimiento de materiales</li> <li>• Desempeño de la producción</li> <li>• Unidades producidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporte de datos a nivel de dirección de taller.</li> </ul>
Comunicación con los ámbitos del nivel de dirección de taller	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción de datos de los ámbitos de PPC, CAP y CAQ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos enviados a los ámbitos de PPC, CAP, CAQ y CI</li> </ul>
Comunicación de datos del nivel de dirección de proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos enviados del nivel de dirección de proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción de datos de los ámbitos del nivel de dirección de proceso</li> </ul>

Fuente: Propia, Abril 2010.

Los agentes son tomados como las funciones de control de fabricación debido a que cada función con una serie de actividades alcanza ciertos objetivos satisfaciendo esto el principio de racionalidad que es la base para la obtención de los agentes en la metodología INGENIAS el cual dice que el agente realiza sólo aquellas acciones que le llevan a satisfacer sus objetivos [17]. Por ello se agrupan los roles (ver Figura 23) de tal manera que se alcancen los objetivos de la función, los cuales interactúan entre sí para satisfacer los propósitos de la representación dinámica y la integración del sistema, los cuales son el objeto del modelado.

Además los agentes se toman de esta manera porque se desea mantener la estructura del modelo Siemens – FIET, facilitando la identificación de las partes del modelo en la estructura del SMA.

Figura 23: Casos de uso asociados al Control de Fabricación.



Fuente: Propia, Abril 2010.

## 4.2 MODELO DE AGENTE

El meta-modelo de agente se usa para describir agentes particulares excluyendo las interacciones con otros agentes. Este meta-modelo se centra en la funcionalidad del agente y en el diseño de su control. En este sentido, proporciona información acerca de los siguientes aspectos [17]:

- **Responsabilidades.** Se trata de las tareas que sabe ejecutar y de los objetivos que se compromete a alcanzar. Generalmente se alude al término *rol* para agrupar la funcionalidad y las propiedades que aparecen con frecuencia en el diseño.
- **Comportamiento.** Se define mediante el control del agente, esto es, mediante qué mecanismos se va a asegurar la ejecución de tareas dentro de los parámetros acordados. Este control toma como entrada un conjunto de datos que se denominará *estado mental*. Además, se considerará el *estado mental* como algo dinámico que evoluciona con el tiempo.

Para lograr que el agente alcance los objetivos es necesario incorporar aspectos referentes a la inteligencia o autonomía.

La *inteligencia* surge al considerar mejoras en el control de ejecución de las tareas. La *autonomía* considera las diferentes situaciones en que se encontrará el agente, teniendo en cuenta también posibles cambios en el entorno. Gracias a las técnicas de inteligencia artificial, el agente puede adelantarse a los cambios en el entorno o a las acciones del usuario. Como la autonomía, la inteligencia puede surgir del diseño del propio agente, a través de heurísticas que consideren situaciones concretas, incorporando algoritmos que permitan la toma de decisiones [17].

En este apartado se estudiarán aspectos íntimamente relacionados con la forma de definir el comportamiento del agente (tipo de control, especificación de estado mental y su evolución) y sus responsabilidades (asociación de tareas, objetivos y roles al agente). No se tendrán en cuenta la incorporación de técnicas de inteligencia artificial para autonomía e inteligencia, ya que esto se tiene en cuenta en la implementación del SMA y no en el modelado propósito de este trabajo de grado.

El meta-modelo de agente debe tener en cuenta la necesidad de expresar por un lado el estado mental del agente y por otro su evolución. El *estado mental* se puede utilizar como guía del control del agente, además está compuesto por *entidades mentales* que tendrán que contemplar creencias, compromisos y deseos. Al control del agente se le pide únicamente que sea posible alcanzar la satisfacción de objetivos basándose en un estado mental de partida, pasando quizá por algunos intermedios.

El meta-modelo define los conceptos de *Gestor Del Estado Mental* y de *Procesador del Estado Mental*. El propósito del primero es desarrollar la evolución del estado mental. Es responsable de mantener la coherencia del conocimiento almacenado y de hacerlo evolucionar [17]. El propósito del segundo es la toma de decisiones en sí, el control del agente [17].

Para definir los requisitos que deben satisfacer el *gestor* y el *procesador* se utilizan tres herramientas: relaciones entre las tareas y entidades mentales, relaciones entre el agente y objetivos, y especificación de estados intermedios por los que pasa un agente en ejecución.

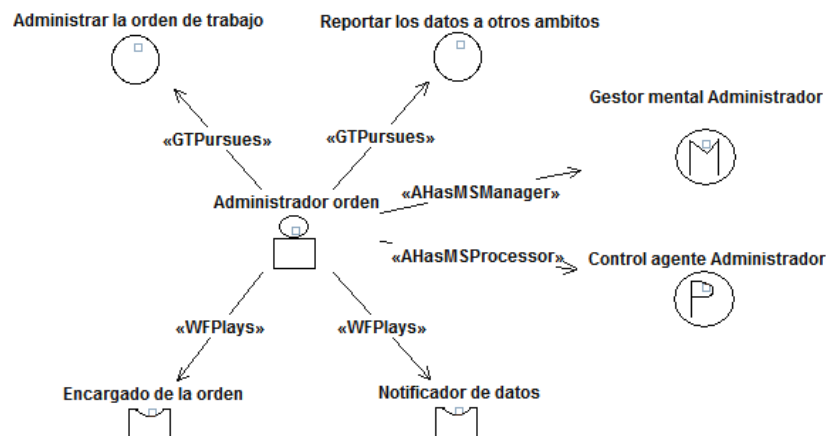
Para la generación del meta-modelo de agente para la función de control de fabricación se identificaron los objetivos de cada agente, tomando los objetivos del agente basándose en los casos de uso anteriormente mencionados; una vez identificados los objetivos se procede a asociar roles para alcanzar dichos objetivos; por último se define, de acuerdo con las cualidades del agente, el tipo de procesador y gestor del estado mental. A continuación se muestra una descripción de los agentes, además de su diagrama generado con la herramienta IDK.

- **Agente administrador de la orden**

Este agente (ver Figura 24) es el que en primera instancia recibe las órdenes y determina si ésta se puede cumplir con la capacidad y los recursos disponibles en el momento, para posteriormente administrarla y responsabilizarse del cumplimiento de ésta.

También se encarga de la recopilación de los datos que se generan en todos los niveles de dirección de proceso y de producción para poder reportarlos a PPC, CAP, CAQ y CI como realimentación e informe de lo que ocurre en las instalaciones de producción.

Figura 24: Agente administrador de la orden.



Fuente: Propia, Abril 2010.

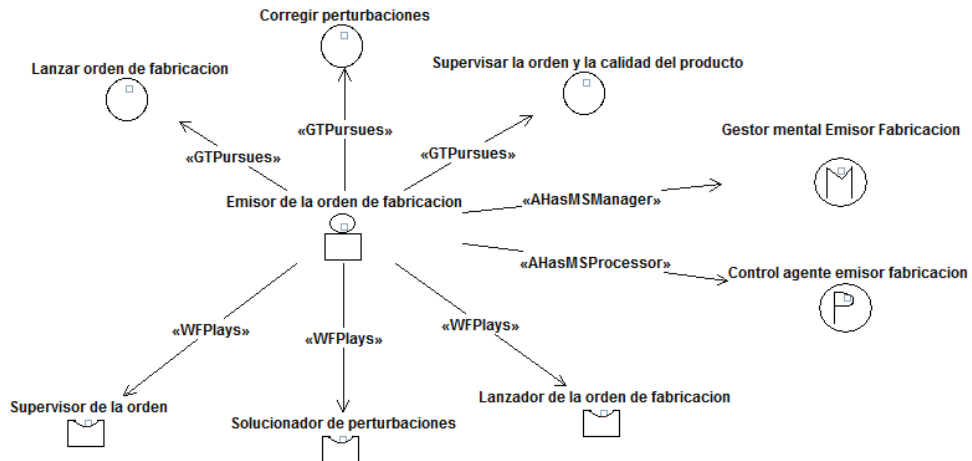
- **Agente emisor de la orden de fabricación**

Este agente (ver Figura 25) se encarga de las decisiones sobre las órdenes de trabajo enviadas por los niveles de dirección de taller y aceptadas por el agente administrador de la orden y el lanzamiento de las órdenes de fabricación en función de la condición y capacidad de cada centro de trabajo asociado a la orden.

Hace la supervisión de todas las órdenes en general en cada una de los ámbitos más próximos a la elaboración de los productos y del proceso en general, con base en la información llegada de PPC y CAQ sobre el desempeño del proceso y del producto.

De acuerdo con su rol de solucionador de perturbaciones crea y/o modifica flujos de trabajo y cambios de consigna definidas en el caso de presentarse perturbaciones en las condiciones de operación normal. Detecta los nuevos modos de fallas y determina las causas de las mismas. Tiene un comportamiento deliberativo.

Figura 25: Agente emisor de la orden de fabricación.

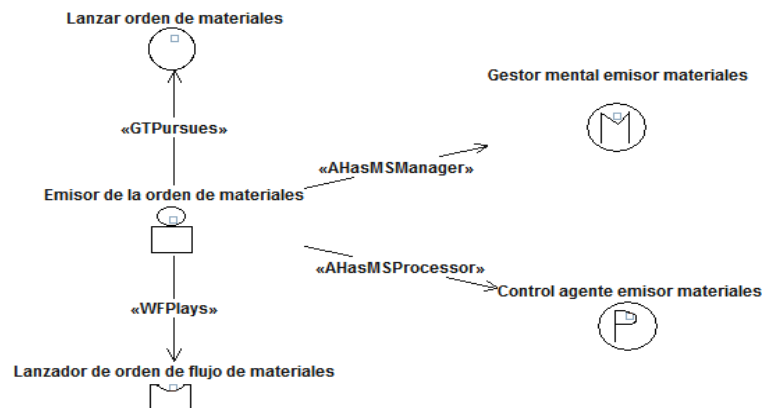


Fuente: Propia, Abril 2010.

- **Agente emisor de la orden de materiales**

Este agente (ver Figura 26) se encarga del manejo de los recursos necesarios para la elaboración de los productos (materias primas, insumos, etc.); este manejo de recursos consta del envío de órdenes de los materiales que han de extraerse del almacén para una determinado producto y la orden a transporte para que sean transportados los recursos a los distintos CT en el momento exacto, pero además se encarga de la solución de los problemas que se generan por los materiales usados o necesarios.

Figura 26: Agente emisor de la orden de materiales.



Fuente: Propia, Abril 2010.

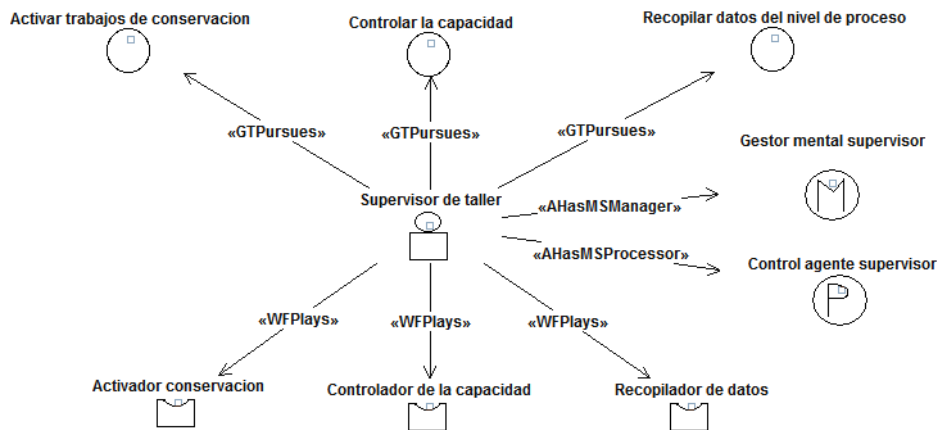
- **Agente supervisor de taller**

Este agente (ver Figura 27) representa las aplicaciones de la supervisión de la dirección de procesos; entre sus diversas funcionalidades se encarga de las labores de supervisión, diagnóstico y clasificación de las actividades de conservación, y del seguimiento de planes de mantenimiento preventivo.

Como indica uno de sus roles la importancia de este agente es que tiene la misión de recolectar los datos provenientes de los estados de los procesos que se desarrollan en las diferentes instalaciones monitoreadas, con lo que puede pre-procesar los datos, comparar las condiciones actuales de los procesos con las condiciones deseadas para los mismos, y en caso de que las mismas se alejen de una cierta banda de tolerancia, ejecuta tareas de tratamiento de perturbaciones, lo que puede resultar en activación de alarmas, emisión de órdenes para ejecución de actividades de corrección o distribución de flujos de trabajo que conllevan a la resolución de las situaciones anormales que se presenten. Además de calcular capacidad, hacer observación de estados y cualquier otra operación para obtener la información requerida por los demás agentes para realizar la planificación, el control o la realimentación a los otros ámbitos.

El resultado de la actuación de este agente es un modelo de datos que contiene toda la información obtenida de los niveles de dirección de proceso, sus características y los planes de fabricación que se deben ejecutar para cumplir con los pedidos de un producto.

Figura 27: Agente supervisor de taller.

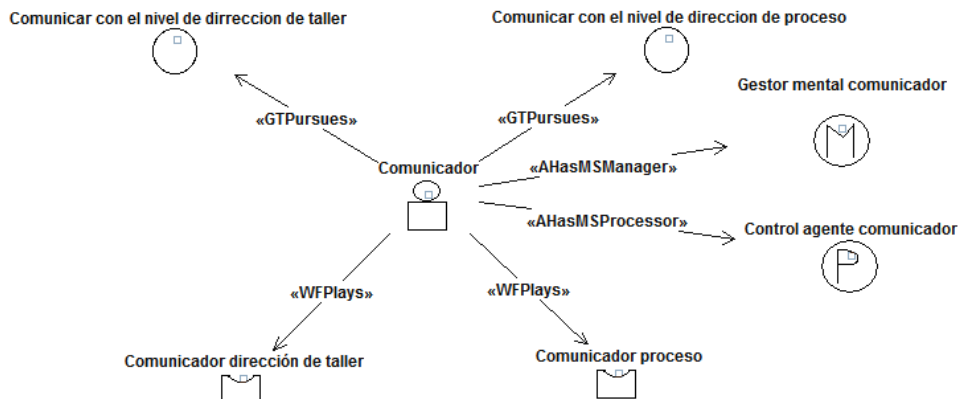


Fuente: Propia, Abril 2010.

- **Agente comunicador**

Para el problema de la comunicación entre los diferentes niveles de gestión se consideró crear dentro del sistema multiagente un agente comunicador (ver Figura 28), que es el encargado de realizar la conexión entre los diferentes niveles empresariales para intercambiar toda la información necesaria, lo que significa que cada unidad de la organización tendrá acceso a la información relevante para sus tareas y transmitirá sus acciones que influirán en otras partes de la organización permitiéndole con ello participar en las decisiones que optimicen los objetivos de la empresa.

Figura 28: Agente Comunicador.



Fuente: Propia, Abril 2010.

En el meta-modelo de agente es necesario, para describir la evolución del estado mental, hacer referencia a propiedades del agente en ejecución. Con este propósito se introduce en el meta-modelo la entidad *Consulta Entidad Autónoma*, la cual adquiere la capacidad de perseguir objetivos y, mediante las asociaciones con roles y tareas, de alcanzarlos [17].

El término *Consulta Entidad Autónoma* se representa con el símbolo de un agente encerrado entre paréntesis; se utiliza para referenciar un agente que va a ejecutar una tarea, al definir un estado mental intermedio de un agente en una interacción, o al estudiar la satisfacción de un objetivo. Los objetivos se satisfacen con la presencia de ciertas evidencias y pueden darse por fracasados cuando estas evidencias no se han producido.

El *estado mental* puede verse como toda aquella información que permite que cada uno de los agentes del control de fabricación tomen decisiones. Esta información es gestionada y procesada para producir las decisiones del agente [17].

**El gestor de estado mental.** Describe cómo se gestionan las entidades mentales de cada uno de los agentes. Este gestor completa la definición de la evolución del estado mental estableciendo, por ejemplo, qué ocurre con los objetivos una vez se alcanzan, qué entidades ya no son válidas y si se pueden añadir nuevas entidades mentales mientras se está tomando una decisión. Estos aspectos se definen utilizando texto y modelos de tareas y objetivos [17].

**El procesador de estado mental.** Es el encargado de tomar las decisiones a partir del estado mental para alcanzar el objetivo propuesto. A la descripción textual de este elemento se añade una descripción en forma de modelos y tareas. A veces es suficiente con decir que se trata de un planificador, otras hay que detallar un conjunto de tareas que describan cómo se activan otras tareas y qué efectos tiene la ejecución de estas tareas. En este caso, se requiere que el que persigue *un objetivo reciba* también el hecho que ayuda a cumplir una tarea. A partir de este momento, el *procesador de estado mental* del agente tiene información suficiente para deducir que secuencia de tareas debe ejecutar para alcanzar el objetivo definido [17].

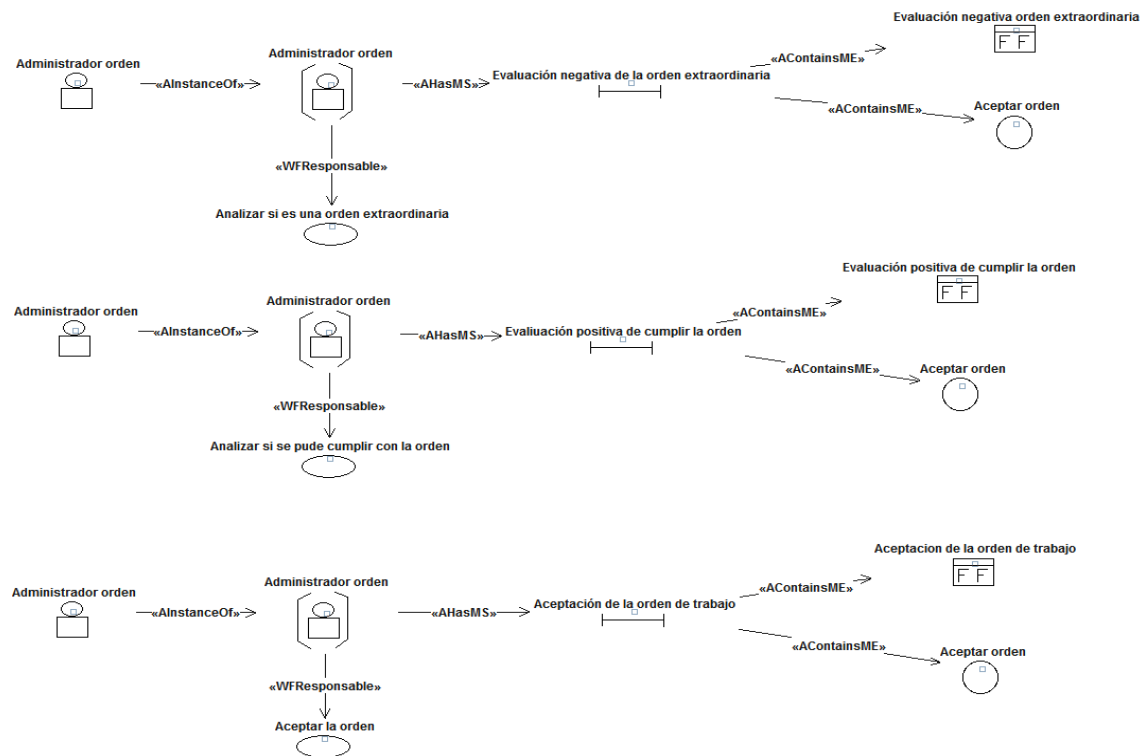
La ventaja de esta separación entre *gestor* y *procesador del estado mental* es que se desacoplan los mecanismos que implementan la autonomía e inteligencia del agente de la conceptualización de agente.

En la Figura 29 se detallan los estados intermedios por los que pasa el agente administrador de la orden que tiene como objetivo aceptar la orden (*GTPersigue*), resultado de la ejecución de tareas (*WFResponsable*) de analizar si es una orden extraordinaria, analizar si se puede cumplir con la orden y aceptar la orden. Inicialmente, el asistente sabe cómo comparar cada una de estas situaciones y con qué datos debe hacerlo.

El estado mental del agente se expresará como un conjunto de hechos, por lo que sólo se necesitan primitivas para producir hechos. El procesamiento del estado mental se hará mediante reglas de producción de los hechos asociados a cada uno de estos; los hechos para este caso son toda aquella información que se necesita para la ejecución de la tarea; para la satisfacción del objetivo de aceptar la orden, el agente percibe las acciones de los demás ámbitos de la organización a través del agente comunicador, para representar esto es necesario utilizar un modelo de entorno, ya que se asume que no se pueden ejecutar tareas que no satisfagan las precondiciones especificadas o que no dispongan de recursos o que, cuando se trate de tareas ejecutadas en el curso de una interacción. En el anexo B se presentan todos los estados mentales por los que pasan los agentes para satisfacer los objetivos del control de fabricación.



Figura 29: Estados mentales para el objetivo aceptar la orden.



Fuente: Propia, Abril 2010.

### 4.3 MODELO DE OBJETIVOS Y TAREAS

Este meta-modelo tiene como propósito recoger las motivaciones del sistema de agentes, definir las relaciones entre objetivos y tareas, indicar las entradas y salidas de cada tarea, y describir cuáles son sus efectos, tanto en el entorno como en el estado mental de sus agentes responsables [17].

Igualmente tiene como finalidad definir los subobjetivos surgidos al descomponer el objetivo general; los objetivos generales son los que persigue cada uno de los agentes; los subobjetivos se asocian con las tareas, ya que con la ejecución de tareas se llega a satisfacer los objetivos, y éstos cambian a medida que se ejecutan las tareas. El procesador de estado mental toma la decisión de la tarea que ejecutar y el gestor de estado mental proporciona las operaciones para modificar los elementos del estado mental y sus relaciones.

La Tabla 9 muestra cómo a partir del objetivo general se llega a los subobjetivos y a la asociación con las tareas por desarrollar para determinar cómo se satisface un objetivo; como se había mencionado anteriormente los objetivos generales se obtuvieron a partir de los casos de uso, los subobjetivos principalmente son las subfunciones del modelo SIEMENS- FIET y las tareas asociadas a estos subobjetivos se tomaron con relación al diagrama de flujo del control de fabricación.

Tabla 9: Objetivos y tareas asociados a subfunciones del modelo SIEMENS- FIET.

Objetivos generales	Descomposición de objetivos nivel 1	Descomposición de objetivos nivel 2	Tareas asociadas a los objetivos	Subfunciones del modelo SIEMENS FIET	
<b>Administrar de la orden de trabajo</b>	Cumplir con la orden	Modificar, anular la orden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar si es una orden extraordinaria</li> <li>Analizar si se puede cumplir con la orden</li> <li>Realizar solicitud de modificación</li> </ul>	Modificación / Anulación de la orden	
		Continuar la orden de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuar orden</li> </ul>	Continuación de la orden	
		Gestionar la orden de trabajo	Aceptar la orden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar si es una orden extraordinaria</li> <li>Analizar si se puede cumplir con la orden</li> <li>Aceptar la orden</li> </ul>	Aceptación de la orden de trabajo
			Administrar la orden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Administrar la orden</li> </ul>	Administración de la orden
<b>Lanzar orden de fabricación</b>	Negociar la capacidad	Oferta de capacidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informar aviso de disponibilidad</li> </ul>	Oferta de capacidad	
		Ocupación de capacidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distribuir la capacidad</li> </ul>	Ocupación de la capacidad	
	Asignar carga a talleres		<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar curva de carga y previsión de carga</li> </ul>	Curva de carga y previsión de carga	
	Asignar ordenes a las células		<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer las órdenes de trabajo</li> </ul>	Asignación de las órdenes	
	Planificar la secuencia de trabajo		<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar la secuencia de actividades</li> </ul>	Planeación de la secuencia de trabajo	
<b>Lanzar orden de materiales</b>	Administrar el material circulante		<ul style="list-style-type: none"> <li>Administrar el material</li> <li>Reportar datos de materiales</li> <li>Corregir inconvenientes relacionados con materiales</li> </ul>	Administración del material circulante	

Tabla 9 (Continuación).

	Solicitar material		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar pedido de materiales a almacén</li> </ul>	Solicitud de material
	Establecer distribución de transporte		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir entrega y recepción de materiales</li> </ul>	Establecimiento de la distribución de transporte
<b>Activar trabajos de conservación</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iniciar mantenimiento</li> </ul>	Activación de trabajos de conservación
<b>Controlar capacidad</b>	Controlar la capacidad de taller		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la capacidad</li> </ul>	Control de capacidad
	Garantizar la disponibilidad de la capacidad		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad</li> <li>• Analizar si son notas de corrección</li> <li>• Analizar si son datos de costos</li> <li>• Analizar si son datos de almacén y transporte</li> <li>• Analizar si son datos de la orden de fabricación</li> </ul>	Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad
<b>Recopilar datos del nivel de proceso</b>	Llevar cuentas de salarios		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar si son datos de costos</li> <li>• Llevar cuenta de salarios y costos de producción</li> </ul>	Llevar cuentas de salarios y costos de producción
	Procesar aviso de perturbaciones		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar si son notas de corrección</li> <li>• Tratamiento y aviso de perturbaciones</li> </ul>	Tratamiento de aviso de perturbaciones
<b>Corregir perturbaciones</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restablecer el correcto funcionamiento</li> </ul>	Corrección de perturbaciones
<b>Supervisión de la orden y la calidad del producto</b>	Supervisar la orden de trabajo		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorizar la orden de trabajo</li> </ul>	Supervisión de la orden de trabajo
	Supervisar la calidad del producto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorizar la calidad del producto</li> </ul>	Supervisión de la calidad del producto
<b>Reportar datos a otros ámbitos</b>	Reportar datos de la producción y proceso		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar datos de la producción y proceso</li> </ul>	Reportar datos de producción y de proceso

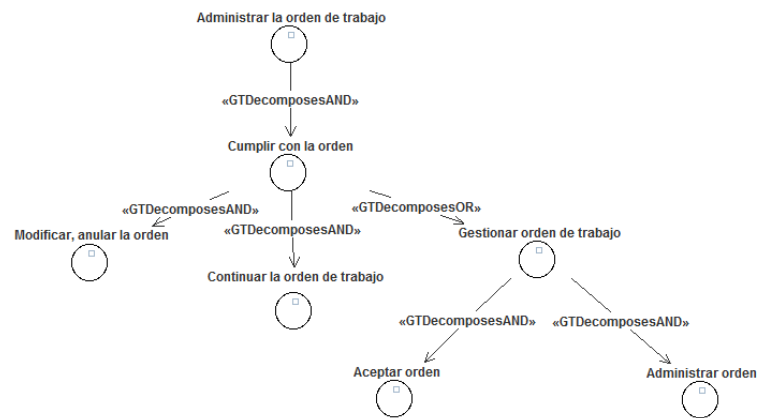
Tabla 9 (Continuación).

	Reportar balance y pérdida de producto		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar el balance y pérdida de producto</li> </ul>	Reportar el balance y pérdida de producto a contabilidad de costo de producto
	Reportar el inventario		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reportar datos de inventario</li> </ul>	Reportar en inventario a PPC
<b>Comunicar datos con el nivel de dirección de taller</b>	Comunicar datos con CAP		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a CAP</li> <li>• Recibir datos de CAP</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con CI		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a CI</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con CAQ		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a CAQ</li> <li>• Recibir datos de CAQ</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con PPC		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a PPC</li> <li>• Recibir datos de PPC</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
<b>Comunicar con el nivel de dirección de proceso</b>	Comunicar datos con fabricación de piezas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a fabricación de piezas</li> <li>• Recibir datos de fabricación de piezas</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con banco de pruebas		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a banco de pruebas</li> <li>• Recibir datos de banco de pruebas</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con embalaje		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a embalaje</li> <li>• Recibir datos de embalaje</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con almacén		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a almacén</li> <li>• Recibir datos de almacén</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con transporte		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a transporte</li> <li>• Recibir datos de transporte</li> </ul>	No tiene funciones asociadas
	Comunicar datos con conservación		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enviar datos a conservación</li> <li>• Recibir datos de conservación</li> </ul>	No tiene funciones asociadas

Fuente: Propia, Abril 2010.

En la Tabla 9 se realizó la descomposición de los objetivos en sub-objetivos; esto se modeló con la herramienta IDK como se muestra en la Figura 30, donde se presenta las dependencias entre objetivos, es decir cada sub-objetivo relacionado con el objetivo general; para el caso de la figura el objetivo general administrar la orden de trabajo del agente administrador de la orden, llega a la descomposición de cuatro sub-objetivos. Para observar las dependencias entre los demás objetivos mencionados en la Tabla 9, remitirse al anexo B.

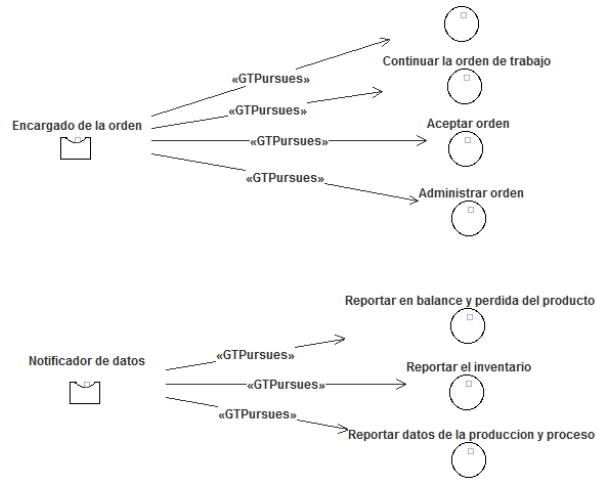
Figura 30: Descomposición del objetivo administrar la orden de trabajo.



Fuente: Propia, Abril 2010.

Una vez obtenidas todas la dependencias entre objetivos se procede a asociar roles con sub-objetivos con el fin de saber quién es el responsable de la satisfacción de tales sub-objetivos. La Figura 31 muestra los objetivos perseguidos por los roles encargado de la orden y notificador de datos; estos dos roles juegan su papel en el agente administrador de la orden. El primer rol es el encargado de aceptar y administrar la orden ya sea normal o extraordinaria, satisfaciendo los sub-objetivos de modificar/anular la orden, continuar la orden de trabajo, aceptar la orden de trabajo y administrar la orden. El segundo rol, el notificador de datos, es el encargado de reportar los datos a nivel de taller, satisfaciendo los sub-objetivos de reportar el balance y pérdida de producto, reportar el inventario y reportar datos de producción y proceso. Para la asociación de los demás roles a los sub-objetivos referirse al anexo B.

Figura 31: Roles del agente administrador de la orden asociados a objetivos.

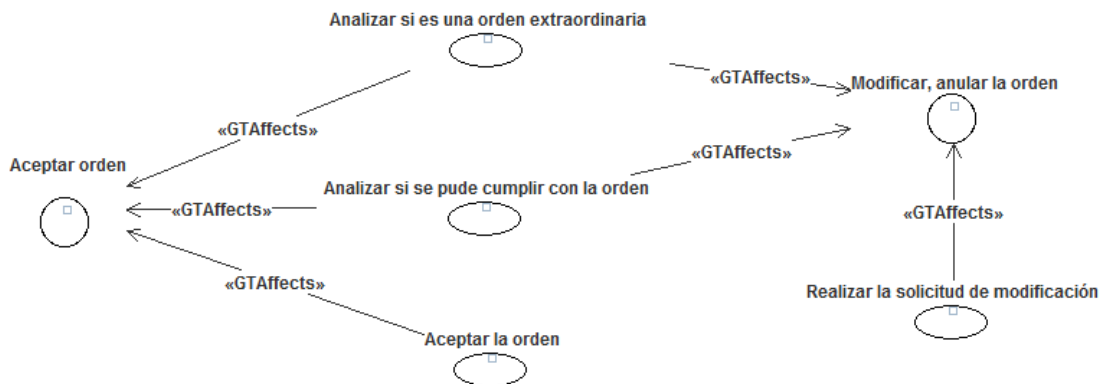


Fuente: Propia, Abril 2010.

Para satisfacer estos objetivos, se definen tareas que más tarde se incorporarán a los flujos de trabajo de la organización; la identificación de tareas ha sido guiada por los objetivos, y principalmente por el diagrama de flujo de la función de control de fabricación. Para cada objetivo se han creado tareas cuya ejecución pueda enmarcarse dentro de los flujos de trabajo, para la satisfacción del objetivo asociado.

En la Figura 32 se muestran las tareas asociadas al sub-objetivo de aceptar la orden las cuales son analizar si es una orden extraordinaria, analizar si se puede cumplir con la orden y aceptar la orden. Como se observa en la Figura 32 las tareas analizar si es una orden extraordinaria y analizar si se puede cumplir con la orden satisfacen además el objetivo modificar-anular la orden junto con la tarea realizar solicitud de modificación.

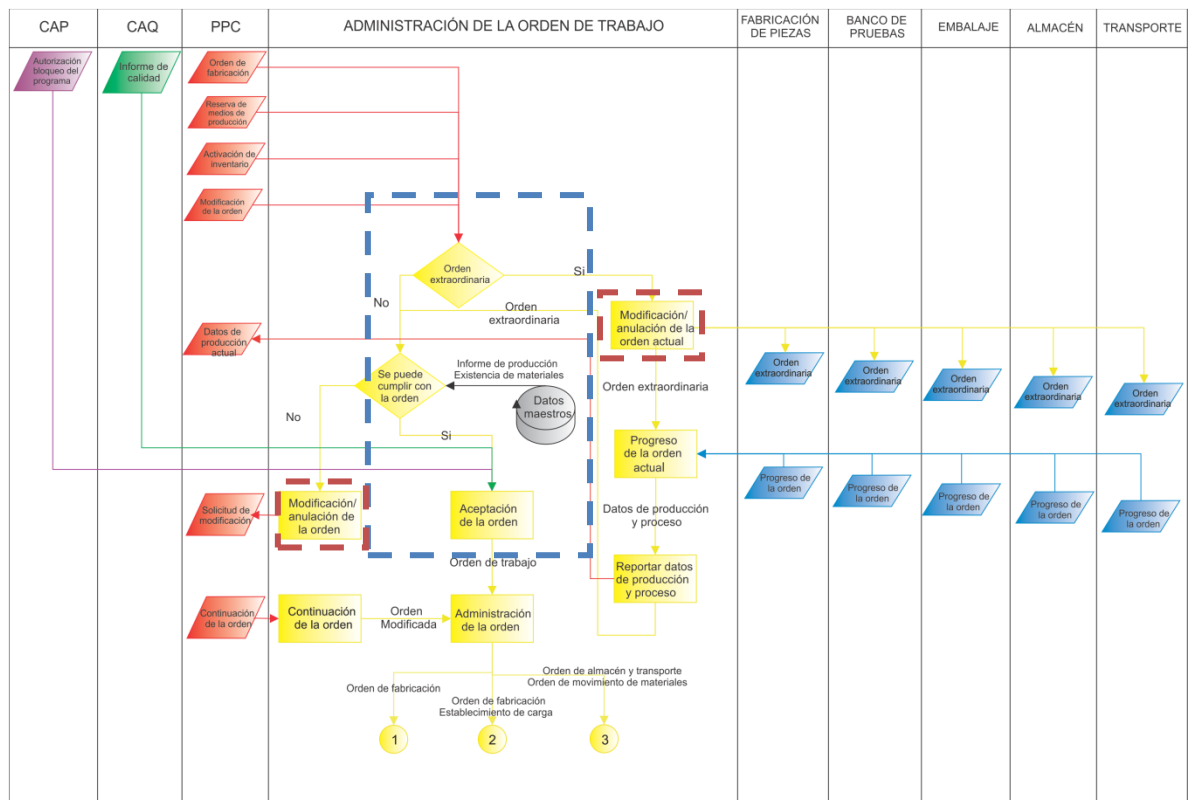
Figura 32: Objetivos aceptar la orden y modificar-anular la orden asociados a tareas.



Fuente: Propia, Abril 2010.

Para la identificación de las tareas como se mencionó anteriormente se basó en el diagrama de flujo; por ejemplo, en la Figura 33 se presenta la aceptación y administración de la orden en donde se puede observar una parte encerrada con una línea punteada azul; en esta parte se encuentran los condicionales de orden extraordinaria y si se puede cumplir con la orden, estas dos acciones se tienen que dar antes de que se pueda aceptar la orden de trabajo, por tal motivo se toman como tareas para el objetivo del aceptar la orden. Entre las líneas punteadas rojas se observa que la sub-función se ve afectada por los condicionales además de ejecutar la acción de modificar o anular la orden. Por esta razón, como se muestra en la Figura 32, los objetivos de aceptar la orden y modificar-anular la orden tienen tareas similares y tareas que pertenecen sólo al objetivo. Para la asociación de todas las tareas al los objetivos remitirse al anexo B.

Figura 33: Identificación de las tareas con ayuda del diagrama de flujo.



Fuente: Propia, Abril 2010.

Ya identificadas las tareas y la asociación a los objetivos se procede a analizar los flujos de trabajo que son aquellos que muestran la funcionalidad del sistema y en el fondo son los flujos que permiten alcanzar los objetivos. En el presente trabajo se inició con los flujos de trabajo antes que las interacciones basándonos en [25] dado que dice que se inicia con los flujos de trabajo cuando la organización está orientada a procesos.

#### 4.4 MODELO DE ORGANIZACIÓN

El modelo de organización es el equivalente a la arquitectura del sistema en un SMA, ya que es la entidad de más alto nivel en el sistema y desde el punto de vista estructural es un conjunto de entidades asociadas por relaciones simples de agregación y herencia; también contribuye al modelo de tareas y objetivos identificando las tareas relevantes para la organización así como los objetivos que se persiguen globalmente [17].

También define restricciones en el comportamiento de los agentes mediante relaciones como la de subordinación. Gracias a estas restricciones se asegura que unos agentes obedecerán a otros o que se comprometerán a la ejecución bajo demanda de tareas respetando sus prioridades.

Entre sus vistas se describe cómo se realiza la producción de la empresa en función de los agentes existentes. La vista de la organización establece roles y dependencias organizacionales (como relaciones de poder) y la información sirve para mantener la integridad organizacional así como para optimizar la producción [17].

La estructura de la organización define los elementos principales que componen la organización y cómo se construye ésta a partir de ellos. Las relaciones sociales establecen relaciones de alto nivel entre los componentes para poner restricciones al comportamiento de la organización. Por último, la definición funcional establece qué ofrece la organización y cómo se lleva ésta a cabo.

En la organización cada grupo contiene agentes, recursos, aplicaciones. La asignación de estos elementos a un grupo obedece a propósitos organizativos, esto es, están agrupados porque clarifica la creación de flujos de trabajo. Cualquiera de ellos puede pertenecer a otros grupos de la misma u otras organizaciones. La utilidad de los grupos aparece cuando el número de estos elementos (agentes, roles o recursos) empieza a ser poco manejable. Los grupos son herramientas inestimables para la estructuración de la organización, ya que permiten al desarrollador aplicar divide-y-vencerás para facilitar el problema de la definición del sistema, y también para modelar estructuras organizativas existentes en el mundo real.

Los objetivos perseguidos por la organización son los objetivos comunes a los agentes que la componen y el motivo por el cual se han agrupado. No obstante, una organización no es un agente. La diferencia fundamental es que la organización no tiene capacidad de ejecutar tareas ni para tomar decisiones, son los agentes que la componen quienes se encargan de ello [17].

En la Figura 34 se puede observar la estructura de la organización que se ha generado para este trabajo, en donde a la organización se le ha denominado CIM ya que se busca es generar un modelo que integre todos los ámbitos de la empresa definidos en el modelo Siemens-FIET; inicialmente se define que la organización persigue dos objetivos: integrar los ámbitos funcionales y automatizar las actividades de una empresa industrial. Dentro de esta organización se han definido varios grupos, entre ellos el grupo Dirección de taller, que a su vez se descompone en los grupos de CI, PPC, CAQ y CAP, los cuales son



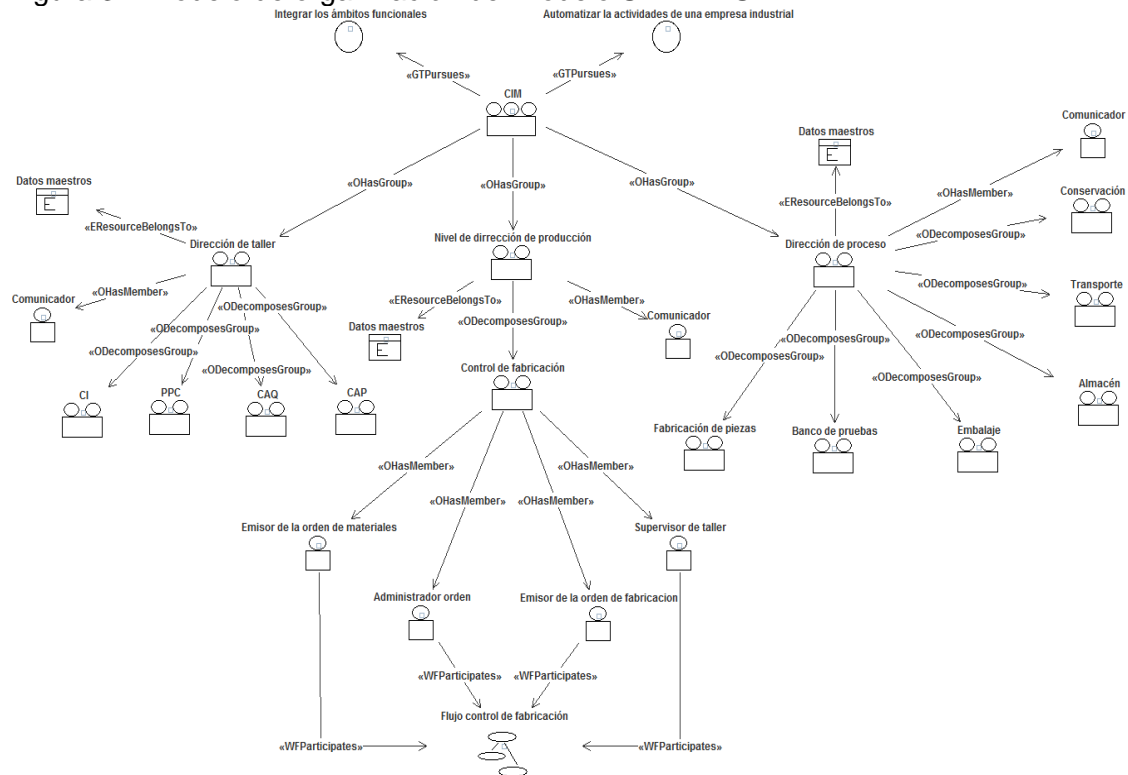
los encargados de gestionar los procesos de contabilidad, la planeación a mediano o corto plazo, los sistemas de calidad y la planeación a largo plazo respectivamente.

Además de este gran grupo existe otro grupo denominado Dirección de proceso que es el contiene a los subgrupos de Fabricación de piezas, Banco de pruebas, Embalaje, Almacén, Transporte y Conservación que son los encargados de gestionar todos las acciones más próximos al piso de planta y que tienen relación directa con el proceso productivo.

En este trabajo solo se enfatiza en el grupo del Nivel de dirección de producción que contiene al grupo Control de fabricación que es el objeto de estudio, donde se precisan los agentes definidos anteriormente (Administrador orden, Emisor de la orden de materiales, Emisor de la orden de fabricación y supervisor de taller) y donde se asigna el lugar que cada uno de ellos tiene en la organización, junto con las aplicaciones que son necesarias para que cada agente realice su labor y se cumplan los flujos de trabajo.

Igualmente se puede observar en la Figura 34 que por cada grupo existe el *Agente comunicador* mencionado anteriormente y que a su vez pertenece a todos los grupos, que es el responsable del intercambio de información en todos los niveles de la empresa, además todos los grupos tienen acceso a la aplicación de los datos maestros y particularmente los agentes del grupo control de fabricación tiene asociado un flujo de trabajo que es el encargado de darle dinamismo a las tareas de la función.

Figura 34: Modelo de organización del modelo SIEMENS – FIET.

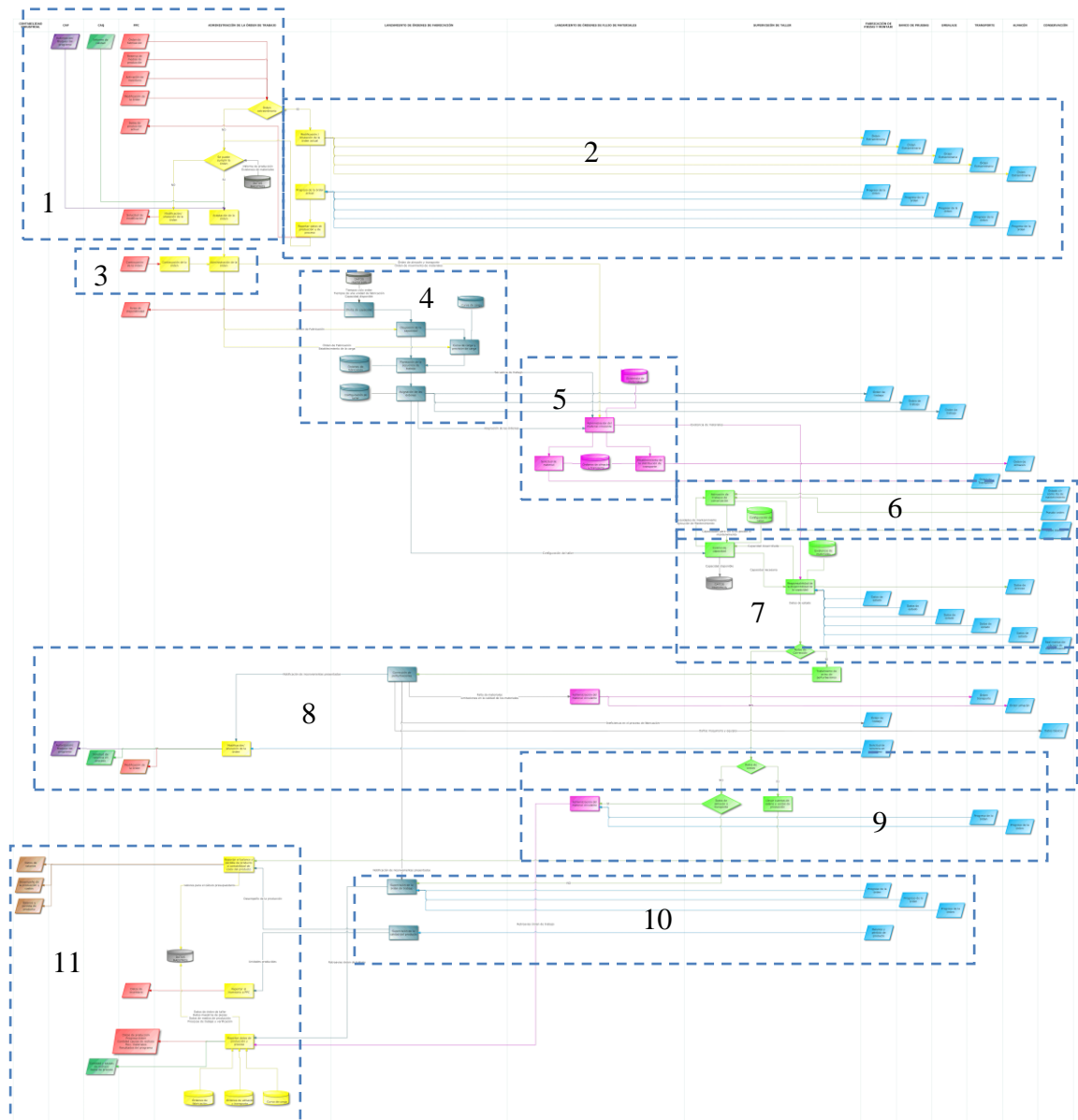


Fuente: Propia, Abril 2010.

Otro aspecto que se trata dentro del modelo de organización son la elaboración de los flujos de trabajo en los cuales se debe asociar las tareas con entidades mentales producidas; esto quiere decir que la ejecución de tareas conlleva la creación de entidades mentales del agente ejecuto; además lleva consigo la asociación de tareas con entidades mentales consumidas; se trata de que la tarea necesita de entidades mentales para la realización de la actividad.

En la Figura 35 se muestran los flujos de trabajo identificados de la función de control de fabricación; para este caso se toman once flujos de trabajo, en donde se asumió que la asociación entre tareas llevará al cumplimiento de los objetivos propuestos.

Figura 35: Diagrama de flujo de control de fabricación para la identificación de los flujos.

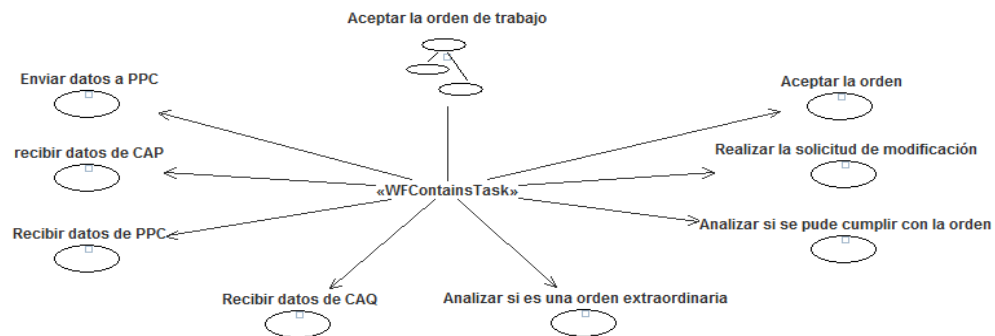


Fuente: Propia, Abril 2010.

A la hora de implementar los flujos de trabajo en la metodología, se utilizó la herramienta IDK en donde se estructuran las tareas, hechos (entidades mentales) e interacciones; como se mencionó anteriormente se identificaron once flujos; en forma de resumen en este documento se presentan dos de ellos; para ver los demás flujos remitirse al anexo B.

Para realizar el modelado del flujo Aceptar la orden, se inicia el proceso analizando qué tareas deben desarrollarse para llevar a cabo el flujo de trabajo, estableciendo qué hechos se consumen y qué hechos se producen, y qué roles participan a la hora de la realización de las tareas, como se muestra en la Figura 37 y Figura 38 respectivamente. Como primera medida se indican las tareas que descomponen el flujo Aceptar la orden de trabajo (ver Figura 36).

Figura 36: Descomposición del flujo aceptar la orden de trabajo en tareas.

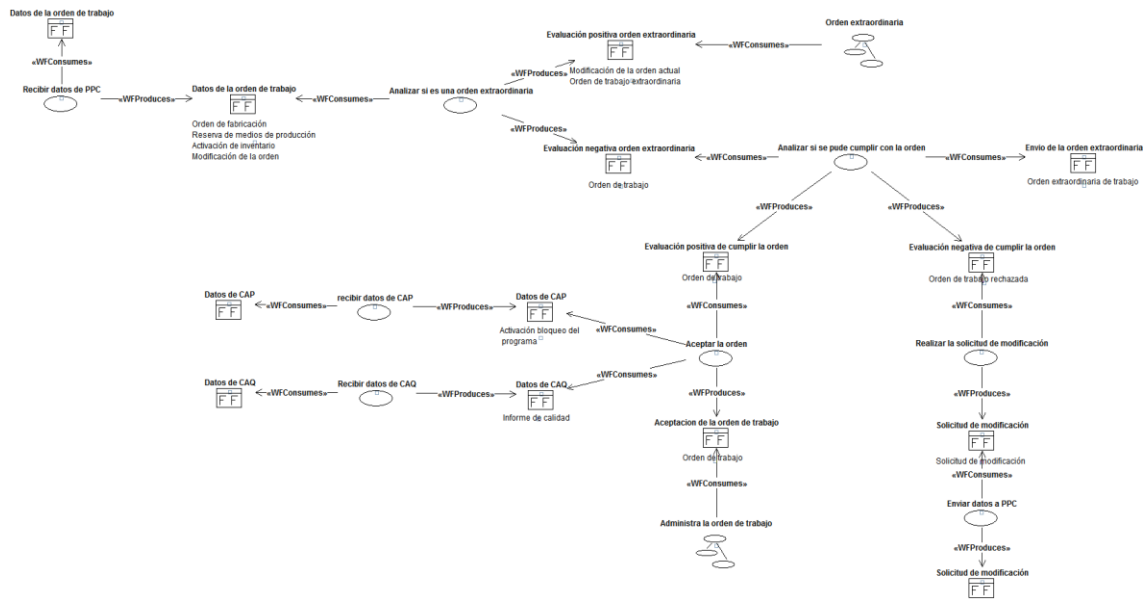


Fuente: Propia, Abril 2010.

El proceso de Aceptar la orden de trabajo inicia con la recepción de todos los datos referentes a la planificación de una nueva orden de producción para las próximas horas o días a través de la tarea recibir datos de PPC mediante el rol Comunicador dirección de taller, al igual que recibir datos de CAQ, CAP y enviar datos a PPC, como se muestra en la Figura 37.

Una vez realizada la recepción de los datos enviados por PPC para las nuevas órdenes, se está en disposición de evaluar si es una orden extraordinaria produciendo dos tipos de hechos dependiendo de la evaluación (ver Figura 37); en el caso de ser una evaluación positiva se envían al flujo orden extraordinaria los datos referentes a la orden extraordinaria y una orden de modificación que pretende informar que próximamente va a ser necesario cambiar la configuración de los centros de trabajo y que se necesita que se reporte el estado de avance de la orden actual para el cálculo de la nueva capacidad y la nueva planificación de las etapas de lanzamiento de órdenes.

Figura 37: Flujo de trabajo aceptación de la orden de trabajo.



Fuente: Propia, Abril 2010.

En el caso de la evolución ser negativa o de consumir los datos que vuelven de las etapas del flujo orden extraordinaria se pasa a la tarea de analizar si se puede cumplir con dicha orden.

El agente Administrador de la orden se encarga de esto con su rol encargado de la orden (ver Figura 38), comparando la información relevante al nuevo pedido con la información actual en el proceso que se obtiene del informe de producción y los datos de materiales, generando la aceptación de la orden debido a la evaluación positiva y de haber consumido los hechos que producen las tareas de recibir datos de CAP y CAQ.

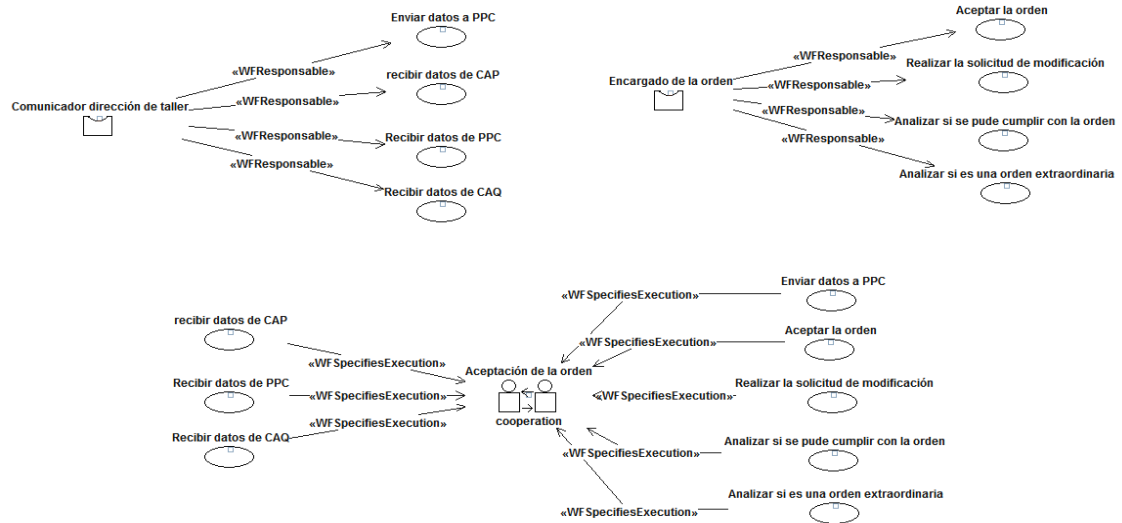
Finalmente se genera un reporte de Aceptación de la orden que será consumido por el flujo de Administra la orden para continuar con todas las actividades de planificación en el Control de Fabricación.

En caso contrario, si se ha generado el hecho de una evaluación negativa de cumplir la orden, es porque en este momento no hay la disponibilidad de algunos de los recursos necesarios para esa orden, con lo que se cataloga como una orden rechazada por el momento hasta que no se realicen una serie de modificaciones, que se obtienen al enviar a PPC una solicitud de modificación con el fin de que ellos corrijan ciertos aspectos para luego volver a evaluar nuevamente de viabilidad de poner en marcha dicha orden con la tarea analizar si se puede cumplir la orden.

Ya identificado el flujo de trabajo de aceptar la orden y los roles que desempeñan las tareas como son el encargado de la orden y el comunicador dirección de taller, se asocian las tareas con las interacciones producidas; esto quiere decir que una tarea produzca una interacción significa que su ejecución conlleva la ejecución de tareas en otros agentes, lo cual implica que los efectos de una tarea se extienden más allá del agente. Como se

muestra en la Figura 38 se produce una interacción que es la de la aceptación de la orden, la cual se encarga de tomar todos los datos del nivel de dirección de taller. Se da esta interacción debido a que para este flujo de trabajo debe existir una cooperación entre el agente administrador de la orden y el agente comunicador.

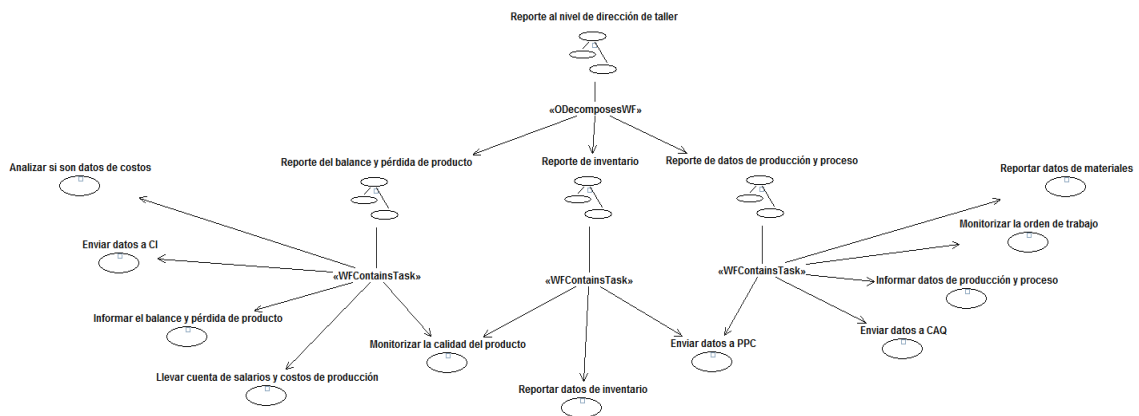
Figura 38: Asociación de interacción y los roles a las tareas del flujo aceptar la orden de trabajo



Fuente: Propia, Abril 2010.

Una parte importante para la integración dinámica de todo el Control de Fabricación es el flujo de Reporte al nivel de dirección de taller, que en este caso se ha descompuesto en tres sub-flujos, el flujo Reporte del balance y pérdida de producto, el flujo Reporte del inventario y el flujo de datos de producción y proceso (ver Figura 39); esta descomposición se realiza debido a que los sub-flujos tienen objetivos diferentes en cuanto a la clase de reporte que tienen que realizar, pero tienen el objetivo común de realizar el reporte a nivel de dirección de taller.

Figura 39: Descomposición del flujo reporte a nivel de dirección de taller.

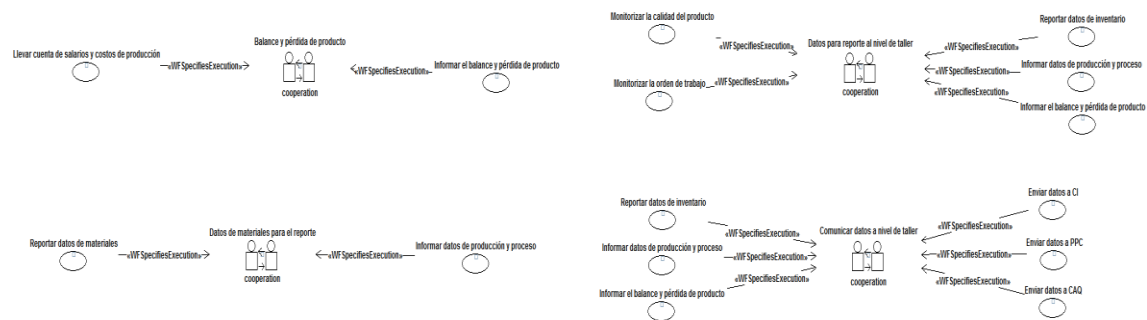


Fuente: Propia, Abril 2010.



Como se observa en la figura 41, para la realización del reporte a nivel de taller se necesitan datos provenientes del agente supervisor de taller jugando el rol recopilador de datos, del agente emisor de la orden de fabricación jugando el rol supervisor de la orden y del agente emisor de la orden de materiales jugando el rol lanzador de orden de flujo de materiales; por este motivo se producen interacciones con cada uno de estos agentes para llevar a cabo el flujo de trabajo (ver Figura 42); además, para llevar la información a los demás ámbitos es necesario la cooperación con el agente comunicador generando una nueva interacción.

Figura 42: Asociación de tarea a interacciones del flujo reporte a nivel de dirección de taller.



Fuente: Propia, Abril 2010.

#### 4.5 MODELO DE INTERACCIONES

El meta-modelo de interacción refleja el comportamiento deseado de un agente cuando recibe instrucciones de otro agente o bien requiere de otro agente para realizar una tarea [17].

Las entidades de interacción se encontraron mediante los flujos de trabajo. Para el caso de la función de control de fabricación se encontraron 26 entidades de interacción; de manera resumida para este documento se presenta dos de ellas; para ver el modelo de interacción completo remitirse al anexo B.

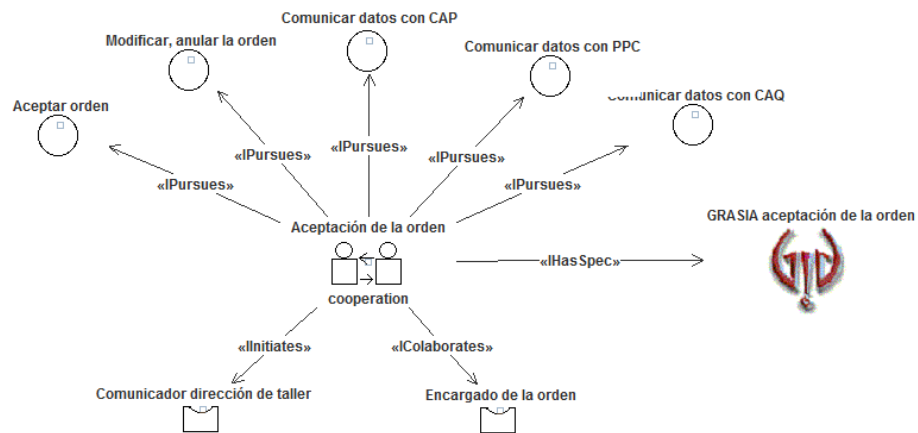
Para la elaboración del modelo de interacción se proponen las siguientes actividades:

1. Identificar los objetivos que se persiguen: para deducir qué objetivos se están persiguiendo se tiene en cuenta cuándo tiene lugar la interacción, quién la inicia y dentro de qué flujo de trabajo estaría enmarcada.
2. Identificar colaboradores e iniciadores de las interacciones. Los participantes en la interacción aparecen si se estudia la interacción desde el punto de vista del flujo de trabajo; las interacciones se producen como resultado de la ejecución de tareas. El ejecutor de las tareas que origina la interacción es el iniciador de la interacción y el resto de los participantes involucrados son colaboradores.

3. Generar una especificación GRASIA: esta especificación se presenta con un conjunto de diagramas GRASIA. Estos diagramas parten de los diagramas de colaboración de UML. La conversión se inicia traduciendo pasos de mensajes a unidades de interacción. En las unidades de interacción se explica por qué un agente decide mandar el mensaje y qué tareas se ejecutan al enviar o recibir el mensaje. Por último, se organizan las unidades de interacción en un diagrama de flujo para explicar en qué orden se ejecutan.

En la Figura 43 se presenta la interacción de aceptación de la orden, la cual se da como resultado del flujo de aceptar la orden en la cual participan el agente administrador de la orden jugando el rol de encargado de la orden y el agente comunicador jugando el rol de comunicador dirección de taller; esta interacción tiene como objetivos comunicar datos a nivel de taller, aceptar y modificar-anular la orden.

Figura 43: Interacción aceptación de la orden.



Fuente: Propia, Abril 2010.

En la Figura 43 se observa que la naturaleza de la interacción es de cooperación debido a que se trata del intercambio de mensajes en un orden concreto y con un contenido predecible.

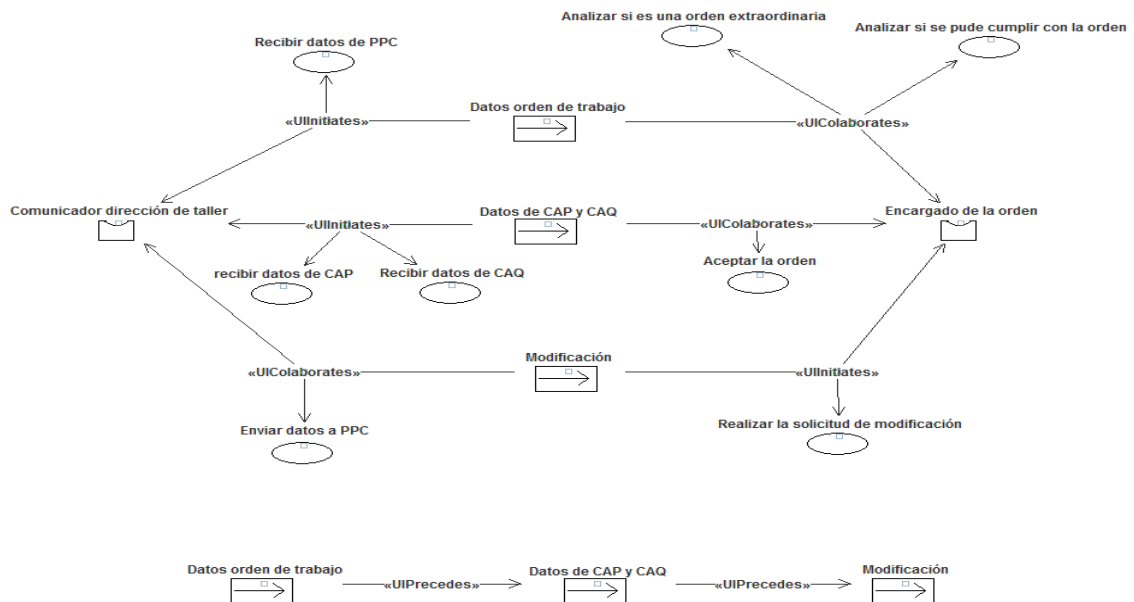
En la Figura 44 se muestra la especificación GRASIA de la interacción de aceptación de la orden, en la cual cada unidad de interacción es un paso de mensaje (los hechos que se deben de intercambiar para la realización de la interacción) y cada tarea con las acciones esperadas iniciador o colaborador. Como se observa en la figura el primer paso de mensaje se da en la unidad de interacción de datos para la orden de trabajo, la cual tiene asociado los mensaje de la orden de fabricación, la reserva de medios de producción, la activación de inventario y la modificación de la orden; estos mensajes son enviados desde la tarea de recibir datos de PPC perteneciente al agente comunicador y realizada por el rol de comunicador dirección de taller y recibidos por las tareas analizar si es una orden extraordinaria y analizar si se puede cumplir con la orden, pertenecientes al agente administrador de la orden y realizadas por el rol de encargado de la orden. El segundo



mensaje se realiza mediante la unidad de interacción datos de CAP y CAQ, la cual lleva consigo los datos de autorización/ bloqueo del programa provenientes de CAP y el informe de calidad proveniente de CAQ, realizado por las tareas de recibir datos de CAP, recibir datos de CAQ y aceptar la orden. El tercer mensaje se realiza mediante la unidad de interacción de modificación, la cual contiene la solicitud de modificación que se envía a PPC, por tal motivo las tareas que las realizan son realizar solicitud de modificación y enviar datos a PPC.

Las unidades de interacción se ordenan como se observa en la parte inferior de la Figura 43 respecto del flujo de trabajo inicial, para identificar como debe ser el paso de los mensajes.

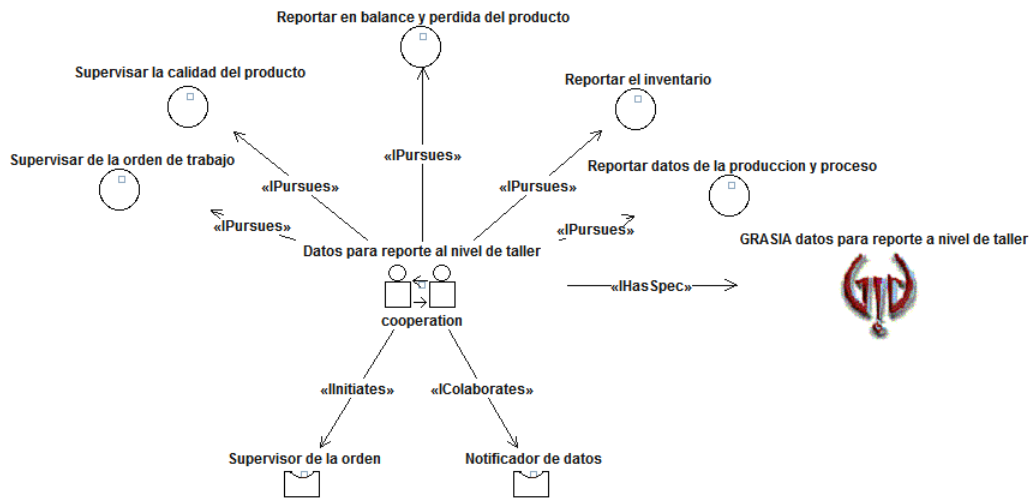
Figura 44: Especificación GRASIA de la interacción aceptación de la orden.



Fuente: Propia, Abril 2010.

En la Figura 45 se muestra la interacción de datos para el reporte a nivel de taller, la cual pertenece al flujo de reportar datos a nivel de taller; en esta interacción participan los agentes emisor de la orden de fabricación jugando el rol de supervisor de la orden y el agente administrador de la orden jugando el rol de notificador de datos; mediante flujo de trabajo y las tareas asociadas a la interacción se concluye que ésta persigue los objetivos de reportar datos tanto de balance y pérdida de producto como de inventario de producción y proceso, además de supervisar la orden de trabajo y la calidad del producto.

Figura 45: Interacción datos para el reporte a nivel de taller.

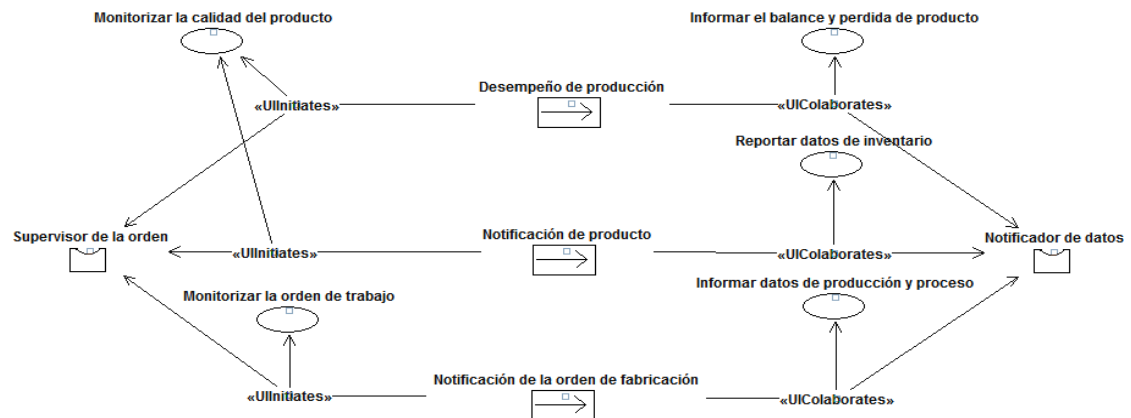


Fuente: Propia, Abril 2010.

Asociada a esta interacción se ha incluido un nuevo diagrama GRASIA para especificar la ejecución de tareas; como se observa en la Figura 46, la tarea de monitorizar la calidad del producto, desempeñada por el rol supervisor de la orden, tiene asociadas dos unidades de interacción, ya que esta tarea en el flujo de trabajo produce dos hechos que son el informe de producción y el informe del producto, cada uno de ellos asociados a dichas unidades de interacción; estos dos mensajes son recibidos por las tareas de informar el balance y pérdida de producto y reportar datos de inventario respectivamente. La unidad de interacción notificación de la orden de fabricación es enviada por la tarea de monitorizar la orden de trabajo y recibida por la tarea de informar datos de producción y proceso.

En este diagrama GRASIA las unidades de interacción no se ordenan dado que éstas para este caso no tienen una secuencia definida; éstas pueden enviar información para ser reportada en cualquier momento.

Figura 46: Especificación GRASIA Interacción datos para el reporte a nivel de taller.



Fuente: Propia, Abril 2010.

## 4.6 MODELO DE ENTORNO

En este meta-modelo el propósito no es generar representaciones del mundo en el que se ubica el SMA, debido a que la experiencia en Inteligencia Artificial ha demostrado lo difícil de esta tarea, ya que aumenta la complejidad del desarrollo de SMA enormemente, porque obliga a estudiar el entorno con detalle para detectar qué acciones realizadas por un agente pueden afectar a otro agente [17].

El meta-modelo de entorno proporciona una descripción de las aplicaciones y recursos requeridos por el agente o por las tareas de las que es responsable. También sirve como descriptor de la percepción del agente, debido a que el agente se puede conectar a aplicaciones ya existentes para obtener información del entorno y la evolución de sus tareas se expresa mediante la producción de evidencias, que pueden ser nuevas entidades mentales o eventos disparados por el entorno [25]. Las aplicaciones pueden ser software como un procesador de texto o ser un recubrimiento de dispositivos hardware.

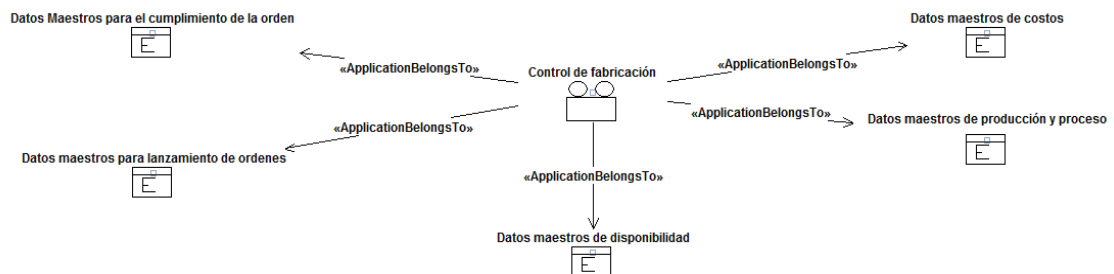
Este meta-modelo proporciona descripciones detalladas de los recursos, aplicaciones y agentes que existen separadamente del sistema en desarrollo. Estas entidades se utilizan para describir los flujos de trabajo y se limitará la percepción y actuación de los agentes.

Estos recursos van desde el número de procesos o hebras requeridos hasta el número de conexiones necesarias con bases de datos.

Las aplicaciones pueden modelarse de distintas formas; en concreto, se estudian dos: abstracciones con objetos y con agentes, las más comunes son las bases de datos. Por último, se considera la posibilidad de que existan otros agentes en el sistema [17]. La presentación del modelo de entorno comienza restringiendo el tipo de elementos que van a aparecer, de los que se pueden distinguir tres posibles tipos: agentes, recursos y aplicaciones.

Para este caso, el modelo que se precisa para el control de fabricación sólo considera modelar las aplicaciones que definen las asociaciones de los agentes con el entorno y el tipo de mecanismo utilizado para recibir datos del entorno, que serían, como se muestra en la Figura 47, los datos maestros que provienen de ámbitos externos al control de fabricación y que son necesarios para la realización de todas las actividades internas de la función.

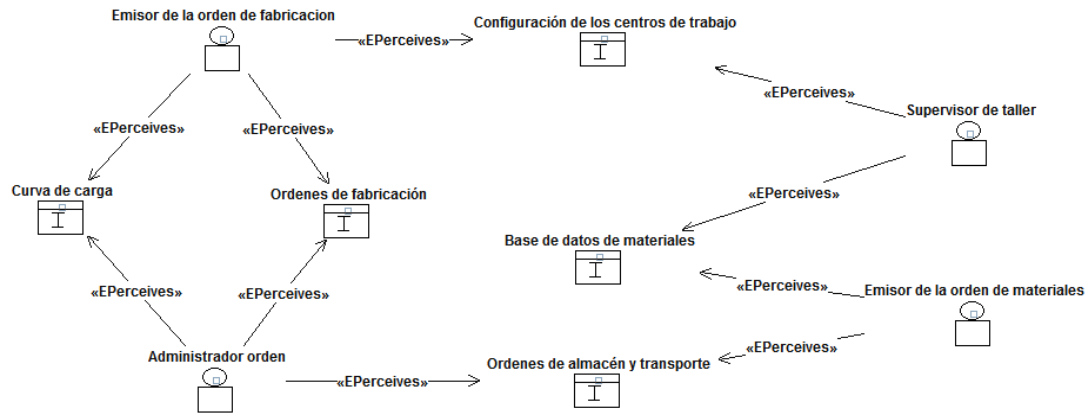
Figura 47: Aplicaciones externas asociadas al grupo control de fabricación.



Fuente: Propia, Abril 2010.

En la Figura 48 se presentan las aplicaciones internas asociadas a los agentes y que son imprescindibles para la evolución de sus tareas, objetivos, estados mentales, etc, influenciadas además por las dependencias entre ellas y con las aplicaciones externas definidas anteriormente (una acción sobre una de estas aplicaciones internas puede afectar a otras entidades o a los datos maestros de la empresa).

Figura 48: Aplicaciones internas asociadas a los agentes.



Fuente: Propia, Abril 2010.

Las acciones del entorno se asume que son llamadas por las operaciones definidas en los flujos del modelo de objetivos y tareas, con lo que se puede concebir las tareas como transformadoras del estado del mundo. La concurrencia de diferentes tareas que modifican el estado del entorno es algo que considerar en la definición del flujo de trabajo de la organización, como se muestra en la Figura 49, donde se representan las aplicaciones internas y externas que están presentes en el flujo de tareas del agente administrador de la orden.

Para ver el modelo de entorno completo remitirse al anexo B.

Figura 49: Aplicaciones asociadas a Agente administrador de la orden



Fuente: Propia, Abril 2010.

## **5. APLICACIÓN DEL MODELO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO**

Con el objetivo de representar el modelo dinámico de la función de control de fabricación del proceso de manufactura obtenido en el capítulo anterior, se realiza la aplicación del modelo a la Industria Licorera del Cauca, para identificar e integrar los flujos de información de la línea de envasado y empaçado de aguardiente caucano.

### **5.1 MODELO ESTRUCTURAL APLICADO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO.**

El proceso de representación de la dinámica del modelo se inició con la recolección de información, identificando las acciones que realiza la Industria Licorera del Cauca y relacionarlas con las sub-funciones de modelo Siemens- FIET, ya que éste fue la base para la realización del modelo dinámico; en la Tabla 10 se presenta esta relación.

Una vez obtenida esta relación se realizó la adaptación del modelo estructural de la función de control de fabricación a la empresa caso de estudio, identificando la existencia de los flujos de información al interior de la empresa, y adaptarlos con aquellos flujos establecidos en el modelo estructural, en la Figura 50 se muestra la aceptación y administración de la orden aplicado a la empresa caso de estudio; para ver los otros flujos del diagrama remitirse al anexo C. Esta integración de los flujos de información establece que existe una relación entre las funciones y sub-funciones del ámbito de control de fabricación descritos en el modelo de referencia y los procesos existentes en Industria Licorera del Cauca, dando esto como resultado la integración de los flujos de información en la empresa.

Para ver la documentación para la representación de la Industria Licorera del Cauca remitirse al anexo D.

Tabla 10: Relación del modelo Siemens - FIET con la empresa caso de estudio.

MODELO SIEMENS-FIET		EMPRESA CASO DE ESTUDIO	
FUNCIÓN	SUBFUNCIÓN	ACCIÓN	FUNCIÓN
Administración de órdenes de trabajo	Aceptación y administración de las órdenes de trabajo.	El profesional universitario de mantenimiento, por correspondencia interna del jefe de la sección producción, mediante autorización escrita recibe la orden de trabajo basado en el programa de producción y requerimiento de materia primas, para cambio de equipos para envasar nueva presentación.	Recepción de orden de cambio en los equipos para envasar en nueva presentación.
	Modificación de la orden, anulación.	El profesional universitario de mantenimiento notifica problemas en la línea de envasado, y el coordinador de envasado reporta datos de falta de materiales para poder llevar a cabo la orden emitida.	Reportar alteraciones en la línea o en materiales
	Continuación de la orden de trabajo retroaviso	El jefe de la división de producción reporta que la orden ya se puede iniciar porque ya se solucionaron los inconvenientes.	Reinicio de actividades.
	Reportar el balance y pérdidas de producto a Contabilidad de costo del producto	Se reporta el inventario y las nóminas de la sección envasado; estos datos generan valores numéricos que serán usados para determinar el personal ocupado promedio, salarios y prestaciones causadas en el mes, total horas hombre trabajadas durante el mes por el personal de producción, valor total de la producción del establecimiento durante el mes, valor total de las ventas realizadas durante el mes (Productos elaborados por el establecimiento), valor de las existencias de productos terminados al fin del mes) de la muestra mensual manufacturera. Para que el jefe de contabilidad mensualmente lleve el control de costos de la empresa y realice el procedimiento electrónico para el informe mensual del sector manufacturero para el DANE.	Reportar datos para el control de costos por contabilidad
	Reportar el inventario a PPC	El coordinador de envasado hace el reporte diario de la cantidad producida de las distintas presentaciones y de la cantidad de caja almacenadas: esta información es enviada al profesional universitario de mantenimiento para que haga reporte mensual para ser enviado a la división de producción	Entrega de producto terminado e inventario a la división de producción.
	Reportar datos de la producción y del proceso.	Informe mensual de toda la recopilación de información de la orden y de los materiales para el envío de los datos a la División producción.	Informe de datos de producción

Tabla 10 (Continuación).

<b>Lanzamiento de órdenes de fabricación</b>	Oferta y ocupación de capacidad	<p>En la Industria Licorera del Cauca en la línea de envasado, no se realizan estas funciones, debido a que esta línea la tienen que ocupar en su totalidad además tiene una secuencia y una distribución del trabajo fija.</p> <p>Lo que se realiza para este caso es la configuración de parámetros de la línea en los cuales se incluye el cambio de accesorios para el envasado de la nueva presentación, la velocidad de envasado y el cambio de los programas de PLC.</p>	Volumen de producción de la línea
	Curva de carga y previsión de carga		
	Planificación de las secuencias de trabajo		
	Asignación de órdenes a diferentes células	<p>Se envía la orden para el cambio de presentación para que el mecánico de envasado empiece retirando los accesorios, guías, sinfines, estrellas guías, copas, empaques de llenado, guía de tapas y tolva surtidora de tapas, en los equipos llenadora y capsuladora los reemplaza por las mismas partes, pero en la correspondiente presentación y la calibración de la entrada y salida del envase en cada equipo y las operaciones de llenado, tapado y etiquetado.</p>	Realizar cambio en los equipos para envasar en nueva presentación
Corrección de perturbaciones	<p>Las perturbaciones dadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando en el proceso de mantenimiento ocurre un daño en un equipo, redes eléctricas, neumáticas, hidráulicas o de vapor, se debe diagnosticar el daño y ordenar al personal de mantenimiento para que intervenga en la corrección presentada según la toma de decisiones ordenada por el Profesional Universitario Mantenimiento.</li> <li>• En presencia del jefe de sección de control de calidad y de un funcionario de control interno realiza el conteo físico de los elementos o bienes de consumo que por encontrarse en mal estado o defectuosos deben ser dados de baja.</li> <li>• Faltante de materiales.</li> <li>• Ineficiencia en la línea de envasado como puede ser el cambio o duplicar el turno del personal.</li> </ul>	Realización acciones correctivas	



Tabla 10 (Continuación).

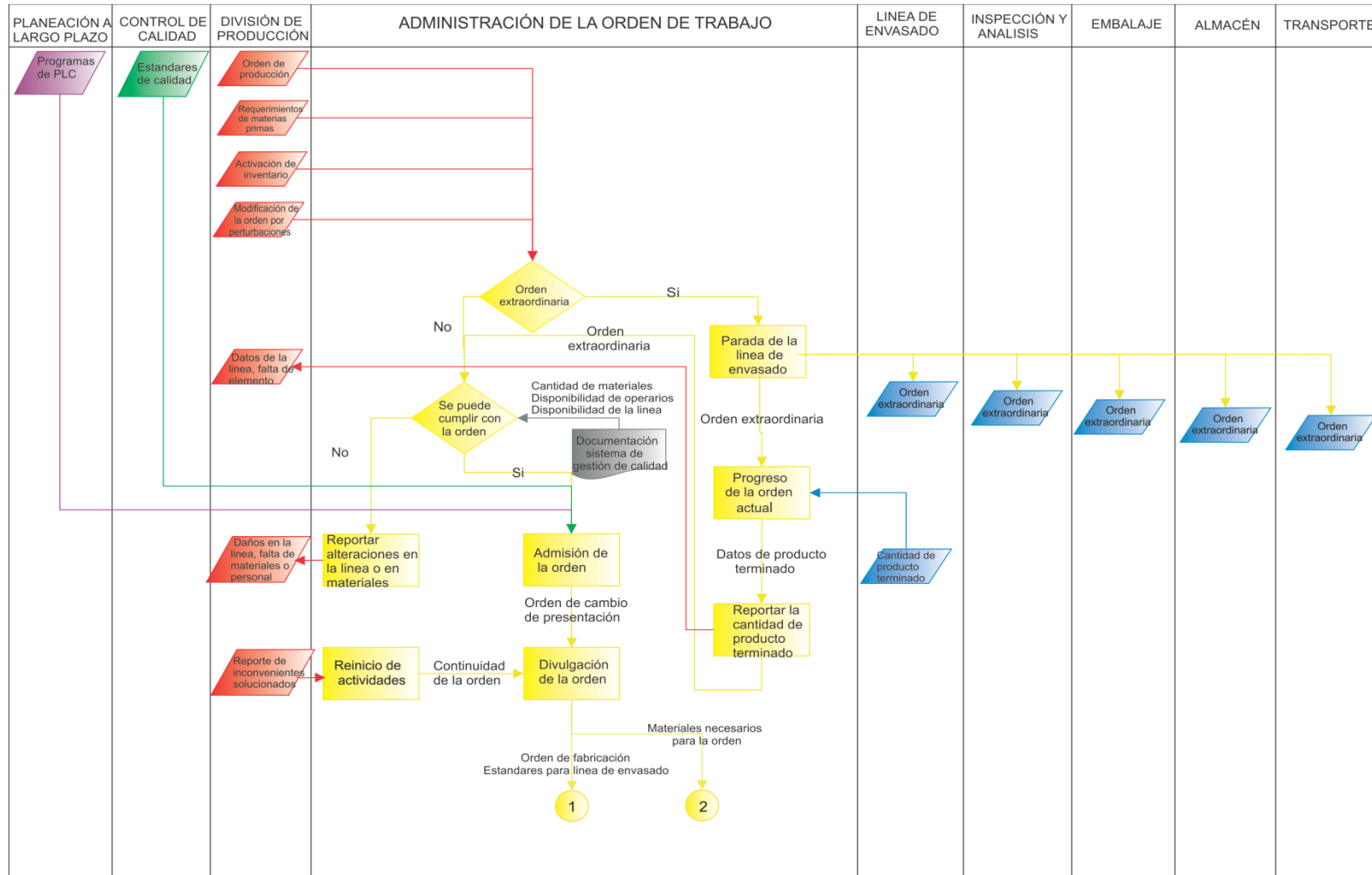
	Supervisión de la orden de trabajo	Al terminar la jornada el coordinador de envasado efectúa conteo de producción realizada, efectúa registros de producción, de perturbaciones en proceso y realiza la nota de entrega de producción terminada. Supervisión de cambio de accesorios para el envasado de la nueva perturbación.	Recopilación de información de la orden
	Supervisión de la calidad del producto	El coordinador de envasado lleva el registro de producto terminado, la cantidad de botellas, etiquetas, tapas y cajas dañadas en el proceso o aquellas que se encuentran en mal estado y que no pueden ingresar como materia prima, las causa de alguna parada en proceso y el tiempo de dicha parada y las falta de personal.	Recopilación de información del producto
<b>Lanzamiento de órdenes de flujo de materiales</b>	Administración del material circulante.	El coordinador de envasado, atendiendo la necesidad de existencias de materiales, diligencia el formato para salida de almacén de materiales y suministro.	Suministro de material a la línea de envasado
		Cuando se presentan faltantes de materiales o éstos no cumplen con los estándares, se envía la orden para que sea llevado lo que se necesita a la línea de envasado.	Corrección en materiales
		Se recibe y verifica la cantidad de materiales y el suministro de acuerdo con los requerimientos del proceso. Al terminar la jornada el coordinador de envasado, realiza inventario físico de materiales, y el consumo de ellos en el proceso.	Recopilación de datos de materiales
	Establecimiento de las distribuciones de transporte	<p>El coordinador de envasado envía las órdenes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Envía la orden para que el auxiliar coordinación envasado lleve la salida de almacén a la bodega de materiales y suministros para ser utilizados en el proceso.</li> <li>• Envía la orden arranque y parada de la banda transportadora y de la mesa recirculante.</li> <li>• En envía la orden al conductor montacargas de alistar el montacargas para iniciar labores de conducción y operación del montacargas suministrando envase en Palet, desde las bodegas hasta el transportador de rodillo de la línea de envasado.</li> <li>• Le envía al conductor montacargas la orden de pasar producción a la bodega de productos terminados.</li> </ul>	Envío de materiales a la línea de envasado

Tabla 10 (Continuación).

	Solicitud de material	El coordinador de envasado envía la orden al preparador de aguardiente para suministro de aguardiente a envasado. Por lo tanto, debe abrir o cerrar, según sea el caso, la llave de paso de aguardiente del área de preparación de aguardiente al área de envasado. El coordinador envía la orden para que se suministren tapas, etiquetas, botellas, cajas y otros insumos para iniciar el proceso.	Solicitud de materiales
<b>Supervisión de taller (Supervisión del ámbito de fabricación)</b>	Control de la capacidad de taller	El coordinador de envasado controlar que la línea de envasado se encuentre funcionando adecuadamente e informa de la ejecución del mantenimiento preventivo. Además se tiene el control de la disponibilidad de la línea, permitiendo desarrollar una planificación de capacidad.	Control del funcionamiento de la línea.
	Responsabilidad de la disponibilidad de la capacidad (órdenes de fabricación, material y transporte)	Una vez preparado el aguardiente, se procede a envasar y posteriormente empacar. Este proceso requiere de una supervisión continua que los operarios deben ejercer en ciertos puntos. Se divide en dos etapas; la primera tiene que ver desde el vertimiento del aguardiente en los envases de vidrio hasta el producto sellado y etiquetado, listo para empacar en la línea de envasado. La segunda etapa consiste en el armado de cajas que por medio de una banda transportadora llega hasta el sitio de empaclado. El coordinador de envasado es el encargado de tomar esta información e informarla donde corresponda, para que se lleven a cabo las acciones correctivas o el reporte de los datos para el seguimiento del proceso.	Supervisión en la línea de envasado.
	Tratamiento de avisos de perturbación	El coordinador de envasado le envía la información de los inconvenientes en la línea al jefe de mantenimiento, para que él tome las acciones correctivas necesarias.	Notificación de inconvenientes en la línea
	Llevar cuentas de salarios y costos de producción	El coordinador de envasado registra los turnos de cada empleado, las horas extras, el valor total de la producción incluidos productos terminados, materia prima dañada y paradas del proceso.	Información de costos de producción
	Activación de trabajos de conservación	Teniendo el programa de mantenimiento preventivo como están escritas todas las actividades hay que ponerlas en ejecución, ordenando al personal de mecánicos y electricistas que realicen las actividades, bajo la supervisión del profesional universitario mantenimiento, que también recibe el trabajo a satisfacción de lo cual quedan registradas las labores en los formatos establecidos. De acuerdo con los aspectos incluidos en los informes de inspección se realizan actividades de mantenimiento que previenen futuros inconvenientes.	Aprobación de la ejecución del programa de mantenimiento preventivo

Fuente: Propia, Mayo 2010.

Figura 50: Diagrama de flujo aplicado a la empresa caso de estudio.



Fuente: Propia, Mayo 2010.

## **5.2 MODELO DINÁMICO APLICADO A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO**

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, para la elaboración del modelo dinámico se parte como base del diagrama de flujo, debido a que para el caso de la línea de envasado y empaçado de la Industria Licorera del Cauca se logró la adaptación de la información al diagrama de flujo de la función de control de fabricación; por lo tanto, se tiene que el modelo dinámico también puede ser adaptado con esta información.

En la Tabla 11 se presenta la relación de los agentes, roles y objetivos entre el modelo dinámico de la función de control de fabricación y los actores y objetivos que harían parte del modelado de la Industria Licorera del Cauca, lo cual convierte al modelado dinámico del proceso de control de fabricación a través de sistemas multiagentes en una herramienta útil para la integración empresarial, debido a que cuenta con toda la información que deben manejar las empresas para que sus procesos sean eficientes.

A continuación se presenta una descripción de los modelos aplicados a la empresa caso de estudio.

### **5.2.1 Modelo de agente**

Como se observa en la Tabla 11 los agentes identificados en la empresa caso de estudio se han acoplado a los agentes de control de fabricación y por tal motivo éstos tienen la misma funcionalidad, con lo que se llega a obtener los mismos diagramas del modelo general de agentes de control de fabricación basado en el modelo Siemens – FIET.

Para el caso de la empresa caso de estudio se han definido cinco agentes identificados con nombres y procesos que son propios de la Industria Licorera del Cauca; éstos se definieron como:

- Receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales.
- Encargado de la línea de envasado y empaçado.
- Encargado de materias primas e insumos.
- Supervisor de la línea de envasado y empaçado.
- Comunicador.

Para el caso de los estados intermedios por los que pasan los agentes de la empresa, son similares a los del modelo general, dado que la secuencia de las tareas se da de igual manera y los estados mentales cambian a medida que se ejecutan cada una de ellas; éstos llevan al cumplimiento de los objetivos como se mostró en los diagramas generales de los estados mentales.

### **5.2.2 Modelo de objetivos y tareas**

De manera semejante los objetivos del modelo general fueron adaptados a los de la empresa caso de estudio, además de los roles que llevan al cumplimiento de dichos objetivos como se muestra en la Tabla 11. Las tareas del modelo para la empresa son todos los objetivos junto con los condicionales que se muestran en la Figura 50, de manera similar a lo que se realizó en el modelo general de objetivos y tareas.

Tabla 11: Relación modelo dinámico y la empresa caso de estudio.

MODELO DINÁMICO CONTROL DE FABRICACIÓN			ADECUACIÓN A LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO			
Agente	Roles	Objetivos	Agentes	Roles	Objetivos	
<b>Administrador de la orden</b>	Encargado de la orden	Modificar anular la orden	<b>Receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales</b>	Gestor de cambio de presentación	Reportar alteraciones en la línea o en materiales	
		Continuar la orden			Parada de la línea de envasado	
		Aceptar la orden			Reporte de inconvenientes en la línea de envasado	
		Administrar orden			Reinicio de actividades	
	Notificador de datos	Reportar el balance y pérdida de producto			Informador de datos de la línea de envasado y empaçado	Admitir la orden
		Reportar el inventario				Divulgación de la orden
Reportar datos de producción y proceso	Reportar datos para el control de costos por contabilidad					
<b>Emisor de la orden de fabricación</b>	Lanzador de la orden de fabricación	Oferta de capacidad	<b>Encargado de la línea de envasado y empaçado</b>	Encargado del cambio de presentación	Entrega de producto terminado e inventario a la división de producción	
		Ocupación de la capacidad			Informe de datos de producción	
		Asignar carga a talleres			Oferta de capacidad	
		Planificar la secuencia de trabajo			Volumen de producción de la línea	
		Asignar órdenes a las células			Realizar cambio en los equipos para envasar una nueva presentación	
	Supervisor de la orden	Supervisar la orden de trabajo			Recopilador de datos de la línea de envasado y empaçado	Recopilación de información de la orden
		Supervisar la calidad del producto				Recopilación de información del producto
	Solucionador perturbaciones	Corregir perturbaciones			Desarrollador de acciones correctivas	Realización de acciones correctivas

Tabla 11 (Continuación).

<b>Emisor de orden de flujo de materiales</b>	Lanzador de orden de flujo de materiales	Administrar el material circulante	<b>Encargado de materias primas e insumos</b>	Encargado del suministro y revisión de materias primas e insumos en la línea de envasado y empackado	Suministro de material a la línea de envasado	
		Establecer distribución de transporte			Corrección de materiales	
		Solicitar material			Recopilación de datos de materiales	
					Envío de materiales a la línea de envasado	
<b>Supervisor de taller</b>	Activador conservación	activar trabajos de conservación	<b>Supervisor de la línea de envasado y empackado</b>	Encargado de mantenimiento	Aprobación de la ejecución del programa de mantenimiento preventivo	
	Controlador de capacidad	Garantizar la disponibilidad de la capacidad			Encargado del funcionamiento de la línea de envasado y empackado	Supervisión de la línea de envasado
		Controlar la capacidad de taller			Notificador de inconvenientes datos de producción	Control del funcionamiento de la línea
	Recopilador de datos	Llevar cuentas de salarios				Notificación de inconvenientes en la línea
		Procesar aviso de perturbaciones				Información de costos de producción
	<b>Comunicador</b>	Comunicador dirección de taller			Comunicar datos con CI	<b>Comunicador</b>
Comunicar datos con CAP			Comunicar datos con planeación a largo plazo			
Comunicar datos con PPC			Comunicar datos con división de producción			
Comunicar datos con CAQ			Comunicar datos con control de calidad			
Comunicador proceso		Comunicar datos con fabricación de piezas	Comunicador nivel de planta	Comunicar datos con la línea de envasado y empackado		
		Comunicar datos con banco de pruebas		Comunicar datos con inspección y análisis		
		Comunicar datos con embalaje		Comunicar datos con embalaje		
		Comunicar datos con almacén		Comunicar datos con almacén		
		Comunicar datos con transporte		Comunicar datos con transporte		
		Comunicar datos con conservación		Comunicar datos con mantenimiento		

Fuente: Propia, Mayo 2010.

### **5.2.3 Modelo de organización**

Este modelo adaptado a la empresa parte de los objetivos principales que serían producir y comercializar licores de calidad para satisfacer a sus clientes y la integración de todos niveles de la empresa; los grupos que contiene la industria licorera estarían divididos en tres: el primero abarca la división de control de calidad, división financiera y la división de producción; el segundo abarca lo que para este modelo es el control de fabricación; y el tercero abarca el nivel de planta que incluye la línea de envasado y empaçado, la inspección y análisis, el embalaje, la sección de almacén y transporte.

En este modelo también se analizan los flujos de trabajo; como se mencionó en el capítulo anterior, se parte del diagrama de flujo para la obtención de éstos; por lo tanto, ya que el diagrama de la empresa fue adaptado al diagrama general, se tienen los once flujos de trabajo que se presentaron en el modelo general.

### **5.2.4 Modelo de interacción**

Con base en el diagrama de flujo presentado en la Figura 50 se observa que los agentes presentan el mismo intercambio de información que en el diagrama general; por lo tanto, la representación para la empresa caso de estudio puede ser adaptada de igual forma a la del modelo de interacciones general.

### **5.2.5 Modelo de entorno**

Para la adaptación del modelo de entorno, se identifican las aplicaciones con las que la empresa tiene relación; para el caso del modelo general se tiene que el sistema tiene relación con los datos maestros y bases de datos internas; en el caso de la empresa no se manejan bases de datos sino documentación para la certificación ISO 9001. Por lo tanto, el modelo de entorno de la empresa se ve afectado por toda la documentación que ellos manejan.

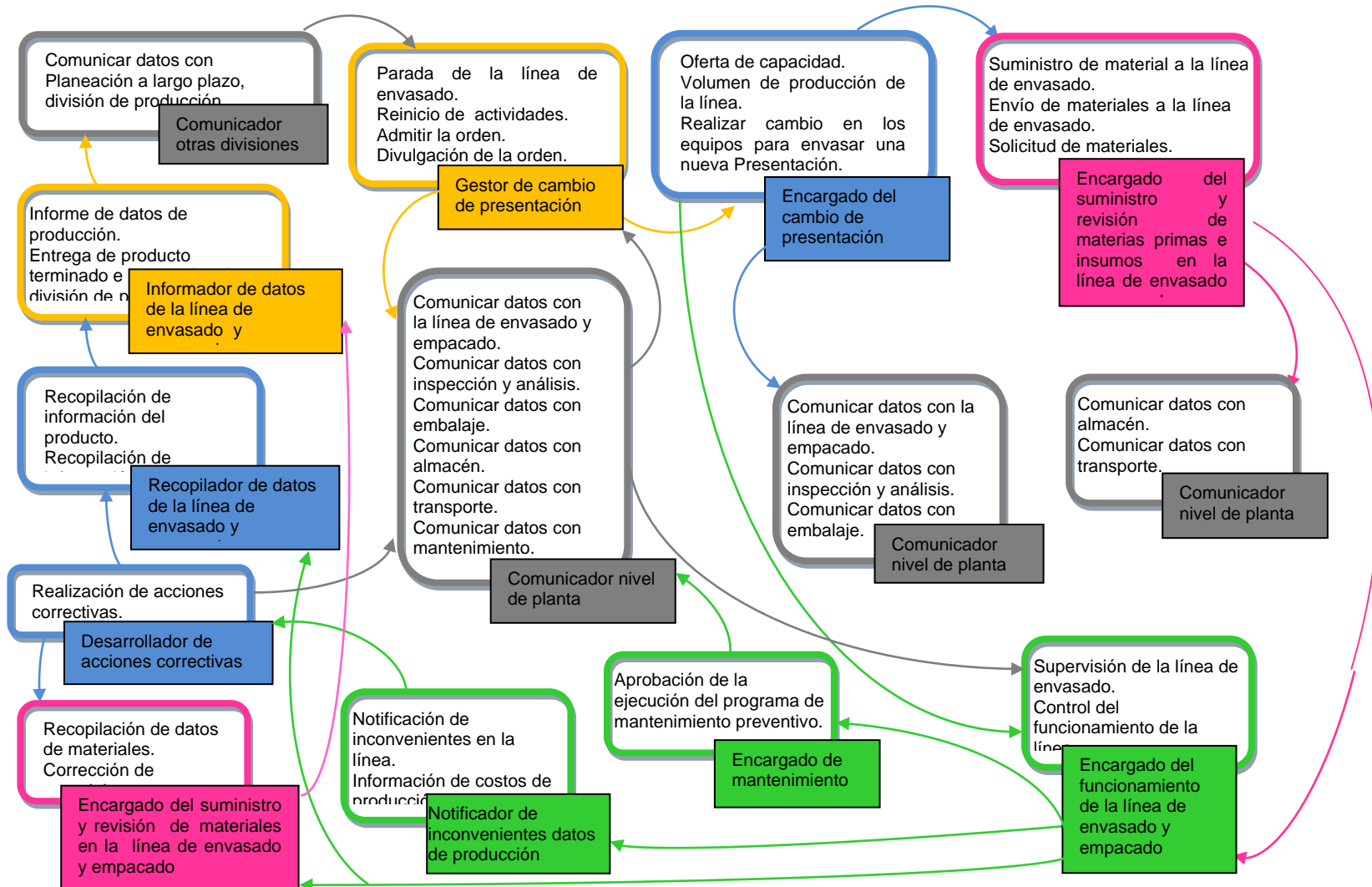
## **5.3 DESCRIPCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LOS ACTORES IDENTIFICADOS DE LA EMPRESA CASO DE ESTUDIO**

En la Figura 51 se muestra la representación del dinamismo de los agentes, los roles y los objetivos que han sido extraídos para la representación del modelado dinámico del proceso de control de fabricación a través de sistemas multiagentes.

En la ilustración el color amarillo representa el agente receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales, el color azul representa el agente encargado de la línea de envasado y empaçado, el color fucsia representa al agente encargado de materias primas e insumos, el color verde representa el agente supervisor de la línea de envasado y empaçado y el color gris representa el agente comunicador. Los cuadros que tienen el relleno de color representan los roles que desempeña cada agente y el cuadro si relleno representa los objetivos.

A continuación se presenta una descripción del dinamismo de los agentes presentado en la Figura 51.

Figura 51: Representación de la evolución de los agentes, roles y objetivos de la empresa caso de estudio.



Fuente: Propia, Mayo 2010.



Como primera medida el agente comunicador jugando el rol de comunicador con otras divisiones recibe todos los datos referentes a la orden de producción para posteriormente enviarlos, para que el agente receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales, jugando el rol de gestor de cambio de presentación, tome todos estos datos para analizar si es una orden extraordinaria; en caso de ser positiva se cumple el objetivo de enviar la orden de parada de la línea de envasado; esta información es enviada por el rol comunicador nivel de planta para que despaché esta orden y reciba la cantidad de producto terminado, para que la orden siga el flujo normal. Posteriormente, el rol de gestor de cambio de presentación evalúa si se puede cumplir con la orden; en caso de que la evaluación sea negativa, se cumple con el objetivo de enviar el reporte de alteraciones en la línea o materiales, el cual es enviado a la división de producción mediante el rol de comunicador otras divisiones; en caso de ser una evaluación positiva de cumplir con la orden se cumple con los objetivos de admisión de la orden y divulgación de la orden.

El agente encargado de la línea de envasado y empaçado inicia cumpliendo el objetivo de oferta de capacidad realizado por el rol encargado del cambio de presentación, enviando el aviso de disponibilidad de la línea a la división de producción por medio del rol comunicador con otras divisiones del agente comunicador. El agente receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales envía la orden de fabricación y estándares para la línea de envasado al rol de encargado del cambio de presentación para que éste cumpla con el objetivo de realizar el volumen de producción de la línea; además, para que se pueda cumplir este objetivo es necesario de la capacidad disponible de maquinaria y personal proveniente del cumplimiento del objetivo de oferta de capacidad; una vez cumplido este objetivo se procede a enviar el cambio de presentación, la configuración de los parámetros de la línea y los cambios en los programas de PLC; para cumplir con el objetivo de realizar cambio en los equipos para envasar la nueva presentación, estos datos son enviados al nivel de planta por medio del rol comunicador nivel de planta.

Por otro lado, el agente encargado de materias primas e insumos, jugando el rol de encargado del suministro y revisión de materias primas e insumos en la línea de envasado y empaçado, necesita de datos de los materiales necesarios para la nueva orden y del cambio de presentación y las unidades que producir provenientes de los agentes receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales y encargado de la línea de envasado y empaçado; una vez suministrada esta información, se cumple el objetivo de suministro de material a la línea de envasado para que posteriormente se pueda cumplir con los objetivos de solicitud de materiales y de envío de materiales a la línea de envasado; cumplidos ya estos objetivos se envía la orden de almacén y transporte por medio del agente comunicador nivel de planta.

El agente supervisor de la línea de envasado y empaçado juega un papel muy importante en el control de fabricación, ya que con su rol encargado de mantenimiento puede cumplir con el objetivo de aprobación del programa de mantenimiento preventivo, enviando a mantenimiento el informe de actividades de mantenimiento por medio del rol comunicador nivel de planta; además, este rol recibe el programa de mantenimiento preventivo para tener el control sobre las actividades que se deben llevar a cabo; adicionalmente este agente juega el rol de encargado del funcionamiento de la línea de envasado y empaçado que se encarga del cumplimiento de los objetivos de control de funcionamiento de la línea

y de la supervisión de la línea de envasado. Para el cumplimiento del primer objetivo necesita intercambio de información con el agente encargado de la línea de envasado y empaçado jugando el rol de encargado del cambio de presentación, enviando información acerca del cambio de presentación que se debe realizar para la nueva producción; este objetivo envía la fabricación de unidades por hora para que se pueda iniciar con el objetivo de la supervisión de la línea de envasado; este objetivo necesita de todos los datos del nivel de planta que son suministrados por el agente comunicador mediante el rol de comunicador nivel de planta; una vez cumplido este objetivo, reporta las unidades fabricadas por hora al control del funcionamiento de la línea para que éste cumpla finalmente su objetivo y envíe la disponibilidad de la línea.

Finalmente, el agente supervisor de la línea de envasado y empaçado juega el rol de notificador de inconvenientes y datos de producción analizando si son inconvenientes; en caso de ser afirmativo, cumple con el objetivo de realizar una notificación de inconvenientes en la línea; se envían datos de la perturbación originada y la causa de la perturbación y son tomados por el rol desarrollador de acciones correctivas del agente encargado de la línea de envasado y empaçado para cumplir con el objetivo de realizar las acciones correctivas; al cumplir este objetivos informa dónde ocurrió la perturbación; en caso de ser de mantenimiento se envía la información a mantenimiento mediante el rol de comunicador nivel de planta; en caso de ser perturbaciones en materiales se envía al agente encargado de materias primas e insumos para que se tome las acciones correctivas ya sea en almacén o en transporte, enviando estos datos a estas secciones mediante el agente comunicador; en caso de ser perturbaciones en la fabricación se lleva la información del agente comunicador a la línea de envasado y en el caso de que la perturbación sea de otras divisiones se envía la información para que el agente receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales cumpla con el objetivo de reportar los inconvenientes de la línea de envasado mediante el agente comunicador.

El rol notificador de inconvenientes y datos de producción interactúa con el rol de encargado del suministro y revisión de materias primas e insumos en la línea de envasado y empaçado para cumplir con el objetivo de recopilar todos los datos de materiales; adicionalmente, este objetivo necesita de los datos de materiales y de transporte de materiales dados por el rol comunicador nivel de planta. Para cumplir con los objetivos de recopilación de información de la orden y del producto realizados por el rol recopilador de datos de la línea de envasado y empaçado del agente encargado de la línea de envasado y empaçado, se necesita interactuar con el agente supervisor de la línea de envasado y empaçado jugando el rol de notificador de inconvenientes y datos de producción y con el agente comunicador jugando el rol de comunicador nivel de planta; una vez cumplidos estos objetivos se envía información relacionada con el producto y el proceso para ser reportada.

Finalmente, el agente receptor de la orden de cambio de presentación y necesidad de materiales jugando el rol de informador de datos de la línea de envasado y empaçado necesita de datos para el cumplimiento de los objetivos de reportar datos para el control de costos para contabilidad, entrega de producto terminado e inventario a la división de producción e informe de datos de producción, de los agentes encargado de la línea de envasado y empaçado y encargado de materias primas e insumos, para finalmente enviar todos los datos del proceso de producción a las otras divisiones por medio del agente comunicador.

## 6. CONCLUSIONES

- Para el modelado dinámico se debe partir de un modelo de referencia que permita la integración empresarial y la optimización de los flujos de información; fue importante por estas razones utilizar el modelo Siemens-FIET.
- Mediante recopilación de las distintas metodologías se llegó a dar secuencia a las funciones de administración de la orden, lanzamiento de la orden de fabricación, lanzamiento de la orden de flujo de materiales y supervisión de taller y llevarlas a un diagrama de flujo que genera el flujo de información interno y externo al control de fabricación, permitiendo la integración con los procesos de planeación, procesos de programación, y sistemas de calidad.
- El uso de los sistemas multiagentes son una buena opción para el modelado dinámico de la función de control de fabricación, debido a que estos tiene la capacidad de tratar situaciones imprevistas y tomar decisiones, además de permitir la coordinación de tareas en distintos procesos, siendo esto una ventaja para la representación e integración de los procesos de manufactura.
- La metodología INGENIAS de los sistemas multiagentes consiguió ser aplicada al control de fabricación del proceso de manufactura, permitiendo obtener un modelo dinámico que representa la evolución de la función y la interoperabilidad entre los distintos ámbitos relacionados.
- Dentro del sistema multiagente establecido se generó el agente comunicador; este agente presenta un aporte importante ya que éste permite realizar la conexión entre los distintos niveles de gestión, con el objeto de intercambiar información que lleve al correcto funcionamiento y seguimiento de toda la organización.
- El sistema multiagente resultante representa la dinámica de la función de control de fabricación, siendo esto significativo dado que no hay referencias de modelado dinámico de este proceso, lo cual es un aporte importante para la línea de la Automatización Industrial porque permite que este modelo sea un acercamiento a la integración de los distintos ámbitos funcionales y una herramienta para la toma de decisiones.
- El modelo dinámico establecido para el control de fabricación fue aplicable a la empresa caso de estudio debido a que aquellos flujos de información del modelo elaborado encontraron correspondencia con la información obtenida del proceso de la empresa, por tal motivo se consideró que dichos flujos cumplen con los requerimientos de la empresa manufacturera.
- En la aplicación del modelo propuesto en la Industria Licorera del Cauca se puede verificar la secuencia de actividades que debe seguir el control de fabricación, así como la retroalimentación de una orden de fabricación en cada una de sus funciones.

## TRABAJOS FUTUROS

Es posible dirigir los siguientes trabajos futuros encaminados a obtener la integración de toda la información dentro de una organización.

- Implementación del modelo dinámico obtenido para el control de fabricación por medio de herramientas adecuadas de desarrollo de software e implementación de sistemas multiagentes como pueden ser FIPA-OS, AGLETS, AJANTA, JADE, ZEUS y Grasshopper, entre otros.
- Modelado e implementación de los ámbitos del nivel de dirección de proceso del modelo Siemens-FIET, mediante un sistema multiagente y un herramienta de desarrollo de software adecuada.
- Modelado e implementación de los demás ámbitos no trabajados del nivel de dirección de taller del modelo Siemens-FIET, mediante un sistema multiagente y un herramienta de desarrollo de software adecuada.
- Modelado e implementación de los ámbitos del nivel de dirección de empresa del modelo Siemens-FIET, mediante un sistema multiagente y un herramienta de desarrollo de software adecuada.
- Construcción de un sistema software que integre todo el sistema multiagente diseñado para los distintos niveles de la organización.
- Implementación del modelo dinámico obtenido para la función de control de fabricación a una empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BAUMGARTNER, Horst; KNISCHEWSKI, Klaus; WIEDING, Harald. CIM Consideraciones básicas. Siemens Aktiengesellschaft & Marcombo, Barcelona, 1991.
- [2] GÓMEZ, Diana; MANQUILLO, Carlos. Adecuación del modelo Siemens a las normas isa S88 e isa S95 con aplicación ilustrativa a caso de estudio. Tesis de pregrado, Universidad del Cauca, junio 2007.
- [3] Arnedo Rosel, José María. Fabricación integrada por ordenador (CIM), Marcombo, Barcelona, España, 1992.
- [4] García Higuera, Andrés; Castillo García, Fernando J. Modelos bibliografía: CIM: el computador en la automatización de la producción, Ediciones la universidad de Castilla-La Mancha, España, 2007.
- [5] ISA S95.01. "Enterprise - Control System Integration Part 1: Models and Terminology". International Society for Measurement and Control. 1995.
- [6] ALFALLA, Rafaela; GARCÍA, Rosa; GARRIDO, Pedro; GONZÁLEZ María del Mar; SACRISTÁN, Macarena. Introducción a la dirección de operaciones táctico-operativa: un enfoque práctico. Editorial Delta publicaciones, Madrid 2007.
- [7] DOMÍNGUEZ, José A. Dirección de Operaciones: Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios. Madrid; España: McGraw-Hill, 1995.
- [8] GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. Administración de producción y operaciones. Octava edición- soluciones empresariales, International Thomson, México, 2000.
- [9] GORDILLO, Antonio; GIRET Adriana, BOTTI Vicente. Distribución de órdenes de trabajo mediante algoritmos de asignación de recursos utilizando Sistema Multiagentes. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, Valencia, España, 2007.
- [10] SANTILLÁN, Nadia Carolina; MALANIJ, FELDGEN, Diego Esteban. Sistema de Supervisión de Producción. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Argentina, 2009.
- [11] CHAVES, Eric. Administración de materiales. Editorial UNED, San José, España, 2005.
- [12] NIGEL, Slack. Administración de operaciones. México, 1999.
- [13] KAST, Fremont. Administración en las organizaciones, enfoque de sistemas y de contingencias. México: McGraw - Hill , México, 1998.

- [14] BRENNAN, Rusnell; NORRIE, Douglas Hector. Agents, Holons and Functions Blocks: Distributed Intelligent Control in Manufacturing. Journal of Applied Systems Studies Special Issue on Industrial Applications of Multi-Agent and Holonic Systems, 2001.
- [15] BOTTI, Vicente; GIRET, Adriana. Aplicaciones Industriales de los Sistemas Multiagente. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Sistemas Informáticos y Computación, España, 2006.
- [16] CARIDI, Maria; SIANESI, Andrea. Multi-agent systems in production planning and control: An application to the scheduling of mixed-model assembly lines, International. Journal of Production Economics. Publisher: Elsevier, Milan, Italia, 2000.
- [17] GÓMEZ, Jorge J. Modelado de sistemas multi-agente. Tesis Metodología INGENIAS. Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Sistemas Informáticos y Programación, Facultad de Informática, Junio 2002.
- [18] LÓPEZ, Alfonso; HERNÁNDEZ, Cesáreo, PAJARES, Javier, AGUILERA, Antonio. Sistemas Multiagente en Ingeniería de Organización. Técnicas Computacionales de Simulación de Sistemas Complejos. II Conferencia de Ingeniería de Organización, Septiembre 2002.
- [19] PÉREZ, Yanis. Aplicación de metodologías INGENIAS, ZEUS, MASINA al desarrollo de sistemas multi-agente, partiendo de SMA de subastas para la identificación de mejores prácticas. Universidad de pamplona, Facultad de ingenierías y arquitectura, Pamplona, Colombia, Abril, 2007.
- [20] ALEXANDRES, María Guadalupe. Arquitectura tolerante a fallos mediante un sistema multiagente para el sistema de control de un robot móvil. Universidad politécnica de valencia, Departamento de Informática de Sistemas y Computadores, Tesis Doctoral, Valencia, 2007.
- [21] MCGUIRE, James; HUOKKA, Daniel; WEBER, Jay; TENENBAUM, Jay; GRUBER, Tomas; OLSEN, Gregory. SHADE: Technology for Knowledge-Based Collaborative Engineering. Journal of Concurrent Engineering: Applications and Research 1993.
- [22] GÓMEZ, Jorge J. Metodologías para el desarrollo de sistemas multi-agente e Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial, Asociación Española para la Inteligencia Artificial Valencia, España pp. 51-63, 2003.
- [23] GOLDMANN, Sigrid. A Project Management Model of Concurrent Planning and Design. In Proceedings of WET ICE'96, Stanford, CA.1996.
- [24] CRAIG, Larman. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. 3rd Edición, capítulo 6, Estados Unidos, 2003.
- [25] GÓMEZ, Jorge; PAVÓN, Juan. Curso de doctorado: Agentes Inteligentes Desarrollo de Sistemas Multi-Agente "La metodología INGENIAS". Departamento de Sistemas Informáticos y Programación, España, 2006.