

**DEFINICIÓN DE UN MÉTODO PARA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES
DE INVENTARIO DESDE EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS HOLÓNICOS
DE MANUFACTURA - HMS**



**Jensy Carolina Solano Correa
Mónica Isabel Urbano Valderrama**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2013**

**DEFINICIÓN DE UN MÉTODO PARA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES
DE INVENTARIO DESDE EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS HOLÓNICOS
DE MANUFACTURA - HMS**



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

**Jensy Carolina Solano Correa
Mónica Isabel Urbano Valderrama**

**Director
Ing. Oscar Amaury Rojas**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2013**

Nota de Aceptación

Director

Msc. Oscar Amaury Rojas

Jurado

Ing. Elena Muñoz España

Jurado

PhD. Carlos Felipe Rengifo

Fecha de sustentación: Popayán, Abril de 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios creador por ayudarme en todo momento y ser la presencia omnipotente que guía mi vida espiritual.

A mi padre, por ser mi amigo, mi ejemplo y mi luz en el camino. Padre te amo y te dedico este logro porque jamás has dado el brazo a torcer en tu esfuerzo por querer darme la mejor educación y ejemplo posible aun cuando esto signifique incontables sacrificios.

A mi madre por ser el regalo maravilloso que me ha dado la vida, porque eres mi inspiración y mi fortaleza.

A mi hermano y a Mariela por estar a mi lado en los momentos de angustias y alegrías; ustedes me dan el amor de cada día.

A mi novio por estar junto a mí y darme su apoyo incondicional. Tu amor me ha dado nuevas metas y alegrías.

A Carolina por la amistad maravillosa que hemos cultivado durante estos años de academia y porque sin ella no sería posible la realización de este trabajo.

A mi familia y amigos por llenar mi vida de orgullo y motivarme a ser una mejor persona cada día.

A Oscar Amaury Rojas por todo el apoyo, dedicación y empeño puestos en la ejecución de este trabajo.

Mónica Isabel.

Agradezco a Dios porque en los pasos que recorrí en la universidad siempre estuvo él para guiarme y brindarme paciencia para afrontar cada reto.

A mi mamá por ser la constante a lo largo de mi vida y permitirme ver que cada noche de desvelo nunca sería un impedimento para contar con ella, su felicidad y su incansable lucha para brindarme a mí y a mis hermanos lo mejor.

A mi padre por enseñarme, desde niña, el gusto por el estudio y por ser mejor cada día.

A mi hermana por su ejemplo, paciencia, compañía y colaboración.

A mi hermano por su compañía serena y su gran ejemplo.

Y a mi novio por el amor, la paciencia y los consejos que a lo largo de estos años me han acompañado.

A Mónica por ser mi amiga incansable, por su apoyo, por nuestras risas y por todo el crecimiento que logramos juntas.

A mi familia y amigos por su compañía y continua colaboración.

A la Universidad del Cauca y a los profesores del programa de Ingeniería en Automática Industrial, especialmente al Ingeniero Oscar Rojas, por su apoyo, enseñanzas y colaboración.

Carolina Solano

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1. FUNCIONES, FLUJOS DE INFORMACIÓN E INTERFACES DE INVENTARIO | 18 |
| 1.1 ANÁLISIS DEL MODELO DE FLUJO DE DATOS FUNCIONAL..... | 20 |
| 1.2 ANÁLISIS DEL MODELO DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO (AOI) | 26 |
| 1.3 SEGUNDO ANÁLISIS SOBRE LOS FLUJOS DE LAS ACTIVIDADES DE INVENTARIO | 32 |
| 1.3.1 Aclaraciones sobre los nuevos flujos para el modelo AOI..... | 35 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA DE LOS SISEMAS HOLONICOS DE MANUFACTURA | 37 |
| 2.1 CARACTERISTICAS DESEABLES PARA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA..... | 37 |
| 2.2 PARADIGMAS DE AUTOMATIZACIÓN | 40 |
| 2.3 HOLON VS AGENTES | 41 |
| 2.4 SISTEMAS HOLÓNICOS DE MANUFACTURA..... | 43 |
| 2.5 ARQUITECTURAS DE REFERENCIA PARA LOS HMS..... | 45 |
| 2.5.1 Product-Resource-Order_Staff Architecture (PROSA) [18]..... | 45 |
| 2.5.2 Arquitectura Holónica Adaptativa para el Control de Sistemas de Manufactura (ADACOR)[5]..... | 46 |
| 2.5.3 Unidad de Producción (UP) [28] | 47 |
| 2.6 SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA | 49 |
| 3. INVENTARIO HOLÓNICO | 51 |
| 3.1 HOLARQUIAS DE INVENTARIO | 55 |
| 3.1.1 Proceso de surtido de Inventario..... | 57 |
| 3.1.2 Control de cantidad de inventarios | 57 |
| 3.1.3 Clasificación del Inventario..... | 58 |
| 3.1.4 Control de Inventario | 59 |
| 3.1.5 Programa de producción..... | 60 |
| 3.1.6 Plan detallado de inventario | 62 |
| 4. MODELADO DE INVENTARIO: ESTRUCTURAL | 64 |
| 4.1. MODELADO ESTRUCTURAL EN UML | 64 |

| | |
|--|-----|
| 4.1.1 UML Unidad de Inventario | 67 |
| 4.1.2 Diagramas de clases UML de las funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional.... | 70 |
| 4.1.3 Diagramas de clases UML de las funciones del Modelo de Administración de Operaciones de Inventario | 76 |
| 4.2. MODELADO ESTRUCTURAL MEDIANTE IDEF0 (DEFINITION FOR FUNCTION MODELING) ... | 79 |
| 4.2.1 Diagrama A ₀ - Inventario | 80 |
| 4.2.2 Interacción entre funciones de Inventario | 83 |
| 4.3. CARACTERÍSTICAS HOLÓNICAS EN LOS MODELOS ESTRUCTURALES. | 86 |
| 5. MODELADO DE INVENTARIO: DINÁMICO..... | 88 |
| 5.1 MODELADO EN WF-Nets PARA LAS ACTIVIDADES DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO | 90 |
| 5.1.1 Control de las actividades de inventario..... | 91 |
| 5.2.2 Control de Inventario de Producto | 92 |
| 5.3.3 Administración de Definiciones de Inventario (A):..... | 96 |
| 5.4.4 Despacho de Inventario (D)..... | 100 |
| 5.2 MODELADO EN WF-Nets PARA LAS HOLARQUÍAS DE INVENTARIO..... | 102 |
| 5.2.1 Proceso de surtido de inventario | 102 |
| 5.2.2 Programa detallado de inventario | 106 |
| 5.3 VALIDACIÓN DE WF-NETS | 109 |
| 5.4 CARACTERÍSTICAS HOLÓNICAS EN LOS MODELOS DINÁMICOS | 110 |
| 6. MÉTODO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO - CASO DE ESTUDIO EMPAQUES DEL CAUCA S.A. | 113 |
| 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 120 |
| BIBLIOGRAFÍA | 122 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Modelo de flujo de datos funcional..... | 20 |
| Figura 2. Modelo de Administración de Operaciones de Inventario..... | 26 |
| Figura 3. Nacimiento del concepto CIM..... | 38 |
| Figura 4. Ciclo de toma de decisiones de una UP..... | 48 |
| Figura 5. Representación de funciones y sub-funciones como holones..... | 51 |
| Figura 6. Representación de la Unidad de Producción..... | 52 |
| Figura 7. Cómo solucionar el problema de islas de información..... | 54 |
| Figura 8. Holarquías de Inventario..... | 55 |
| Figura 9. Ejemplo de intercambio de información entre los componentes MES.... | 65 |
| Figura 10. Principales interacciones entre los 4 componentes de operaciones de manufactura..... | 66 |
| Figura 11. Diagrama de secuencia de operaciones de manufactura..... | 66 |
| Figura 12. Diagrama de clases de la Unidad de Inventario..... | 68 |
| Figura 13. Diagrama de clases de información de la Unidad de Inventario..... | 69 |
| Figura 14. Diagrama de clases UML para la función Procesamiento de Órdenes. | 71 |
| Figura 15. Diagrama de clases para la función Administración de Envío de Producto..... | 75 |
| Figura 16. Diagrama de clases Administración de Definiciones de Inventario..... | 77 |
| Figura 17. Definición de actividades para IDEF0..... | 80 |
| Figura 18. Diagrama en IDEF0 de Inventario..... | 81 |
| Figura 19. Diagrama en IDEF0 de la función Administración de Definiciones de Inventario (A). | 82 |
| Figura 20. Relaciones entre funciones a través de flujos de información..... | 84 |
| Figura 21. Relación de flujo de información y material..... | 85 |
| Figura 22. Bloques de construcción para Workflow..... | 89 |
| Figura 23. Tipos de triggering (disparadores)..... | 90 |
| Figura 24. Ciclo de control interno de cada holón..... | 92 |
| Figura 25. WF-Net de la función Control de Inventario de Producto (parte 1). | 94 |
| Figura 26. WF-Net de la función Control de Inventario de Producto (parte 2). | 95 |
| Figura 27. WF-Net para Administración de Definiciones de Inventario (parte 1) ... | 99 |
| Figura 28. Subrutina crear orden para Administración de Definiciones de Inventario | 99 |
| Figura 29. WF-Net de Despacho de inventario (D)..... | 101 |
| Figura 30. WF-Net para la holarquía del proceso de surtido de inventario..... | 104 |
| Figura 31. Subrutina de compra para la holarquía del proceso de surtido..... | 105 |
| Figura 32. WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 1) | 107 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33. WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 2) | 107 |
| Figura 34.WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 3) | 108 |
| Figura 35. Validación de la WF-Net de Análisis de Inventario | 109 |
| Figura 36. Validación de la WF-Net de Análisis de Inventario | 110 |
| Figura 37.Procesos básicos para la planificación | 114 |
| Figura 38.Formato de tabla para organizar las funciones identificadas. | 117 |
| Figura 39.Formato de tabla para organizar los flujos de información identificados. | 118 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Significado de las siglas utilizadas en los ámbitos del modelo CIM de Siemens FIET | 21 |
| Tabla 2. Sub-funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional, relacionadas con Inventario, que no encuentran correspondencia con un ámbito..... | 21 |
| Tabla 3. Funciones y sub-funciones del Modelo de Datos Funcional relacionadas con Inventario | 22 |
| Tabla 4. Flujos de información desde y hacia Planeación Empresarial, Contabilidad Industrial, CAQ y Ventas..... | 25 |
| Tabla 5. Actividades de Administración de Operaciones de Inventario | 29 |
| Tabla 6. Flujos de información e interfaces de la función Recolección de Datos de Inventario del modelo AOI..... | 31 |
| Tabla 7. Flujos de información para la función Procesamiento de Órdenes | 33 |
| Tabla 8. Definición de los nuevos flujos para las funciones del AOI, Administración de Definiciones de Inventario y Administración de Recursos de Inventario | 34 |
| Tabla 9. Nomenclatura empleada en la WF-net de Control de Inventario de Producto..... | 96 |
| Tabla 10. Nomenclatura empleada en la WF-Net de Administración de Definiciones de Inventario..... | 100 |
| Tabla 11. Significado y nomenclatura para la red de Petri de Despacho de Inventario | 101 |
| Tabla 12. Significado y nomenclatura para la red de petri de la holarquía Proceso de surtido de inventario..... | 105 |
| Tabla 13. Significado y nomenclatura para la red de petri de la holarquía Programa detallado de Inventario..... | 108 |

INTRODUCCIÓN

Los cambios que se desarrollan dentro de la industria manufacturera avanzan tan rápido como las exigencias de los clientes lo demanden, por esto las estrategias para mantener, recuperar y penetrar los mercados deben ser enfocadas de forma tal que los diferentes recursos de una empresa se destinen a la satisfacción total de los consumidores, pues estos demandan productos de alta calidad, bajos costos y altamente personalizados. Lo anterior puede lograrse a través del trabajo conjunto de las diferentes áreas de la organización, gracias a este es posible entregar productos innovadores o con modificaciones, estas pueden ser encaminadas al mejoramiento de la calidad (incrementando la duración, confiabilidad o rapidez), del aspecto (añadiendo nuevas características gracias a las cuales se obtiene productos más útiles o seguros) o del estilo (que tiende a incrementar el atractivo del producto con nuevos colores, sabores, empaques o ingredientes) [1,2] y permiten que al finalizar el proceso de fabricación el producto entregado se comercialice exitosamente.

A nivel mundial es evidente la presión que los clientes han ejercido para que las diferentes industrias dedicadas a la fabricación y comercialización de celulares, iphones, tablets, entre otros dispositivos electrónicos, presenten nuevas y mejores aplicaciones, tanto hardware como software, que hagan de la experiencia del consumidor algo más emocionante y satisfactorio. Los productos de consumo masivo como los de aseo también sufren constantes transformaciones, o pasan por procesos de diversificación, incluso las empresas han realizado grandes alianzas estratégicas como es el caso de Unilever y P&G (Procter & Gamble) para así responder a las tendencias tanto masivas como personalizadas y dinámicas de consumo de todo el mundo.

En el contexto nacional es posible encontrar empresas que tienen desarrollo y comercialización de productos con enfoque al cliente. Puntualmente, para la Compañía Nacional de Chocolates, una empresa perteneciente a la industria de alimentos, es de suma importancia que los consumidores de sus productos tengan plena satisfacción de sus gustos y preferencias, como se indica en la misión de la empresa [3].

A lo largo de su historia la Compañía Nacional de Chocolates ha evolucionado de forma constante, a mediados de los años 30 la compañía empezó a incursionar en el mercado con fuertes campañas publicitarias y nuevos productos como los chocolates Corona y Diana. Con el fin de diversificar su producción en la década de los años 60 se produjo la primera golosina de chocolate y el primer chocolate en polvo fabricados en Colombia, chokolatina jet y chokolito respectivamente.

Con el paso del tiempo y a medida que la economía, los gustos y las necesidades del mercado cambiaban, la compañía mantuvo su iniciativa, no solo introduciendo nuevos productos o cambiando los ya existentes (agregando maní, cambiando el

tamaño en las presentaciones, etc.) sino también actualizándose en el uso de tecnologías, iniciando la automatización de diversos procesos en las diferentes fábricas de la empresa, y empleando estrategias de negocio entre las cuales se pueden mencionar la compra o asociación con otras empresas del mismo sector y la especialización de sus canales de distribución; todo lo anterior con el fin de lograr mantener y aumentar su mercado, tanto nacional como internacional. Es así como en la actualidad la Compañía Nacional de Chocolates cuenta con una gran variedad de productos que son distribuidos en diferentes países y cuya fabricación está guiada por la satisfacción plena de los consumidores.

Para lograr dar cumplimiento a todos los cambios demandados por los consumidores las industrias del sector manufacturero tienen claro que hoy en día es necesario que cada una de las áreas que hacen parte de su organización estén integradas para que al presentarse un cambio en el entorno se pueda reaccionar de forma tal que no se afecte drásticamente el funcionamiento actual o futuro de la empresa. Es aquí donde la planificación empresarial, las actividades de producción, de calidad, de inventario entre otras cobran vital importancia, pues el dinamismo en la ejecución de las tareas y los flujos de información dentro y a través de las mismas deben ser eficaces y eficientes, para que de esta forma se puedan afrontar las exigencias de los mercados.

Una actividad de gran importancia dentro de una empresa es el manejo del inventario, ya que este se encuentra involucrado directa o indirectamente con la mayoría de las actividades de una organización. Una adecuada administración de las operaciones de inventario repercute, entre otros aspectos, en la eficiencia de la producción, en las compras y ventas, y en la economía empresarial. No importa cuán grande o pequeña sea la organización, los inventarios siempre estarán presentes, ya sea en forma de materias primas, productos terminados, productos en proceso o productos circulantes en el proceso productivo.

Para lograr mayor productividad y eficiencia en una empresa es necesario realizar esfuerzos en optimizar diferentes procesos internos ya sea en piso planta, en MES (Manufacturing Execution System) o a nivel administrativo. Mejorar la gestión de inventarios es una estrategia que se puede adoptar para incrementar la productividad empresarial. No almacenar material ni productos terminados por encima de una cantidad adecuada, controlar y reducir el riesgo de pérdidas de inventarios, sustentar las actividades de transferencia de material, garantizar un flujo continuo y regular de materiales, despejar las áreas de trabajo evitando cuellos de botella por acumulación inadecuada de materiales en circulación, disponer áreas bajo condiciones apropiadas para el almacenamiento son algunas de las responsabilidades que se deben desarrollar dentro de la Administración de Inventario para garantizar que las funciones de la misma se ejecuten óptimamente.

El estándar ISA 95 nace gracias a la necesidad de las organizaciones de ser capaces de compartir información vital entre el nivel de negocios y el de

manufactura de manera eficiente y con un grado de detalle apropiado [4], brindándoles la posibilidad de integrar cada una de las actividades que se llevan a cabo y de identificar las tareas y flujos de información que se deberían desarrollar para dar cumplimiento a un objetivo determinado.

Además es un hecho que las operaciones y funciones desarrolladas en todos los niveles de la organización, con la información adecuada, generan grandes beneficios para el negocio, tales como: reducción de costos, aumento de la productividad, mayor rentabilidad del negocio, satisfacción del cliente, entre otras. Es por esto que el estándar ISA 95 es empleado como una guía para el desarrollo de los sistemas de ejecución de manufactura, MES, debido a que en él se ha especificado el modelo de administración de operaciones de manufactura, dentro del cual se incluyen las operaciones dedicadas a producción, mantenimiento, calidad e inventario [4], siendo este último de particular interés.

Toda organización, sin importar el nivel de automatización o el nivel tecnológico que posea, presenta un comportamiento distintivo, que puede basarse en una visión jerárquica, heterárquica u holárquica. En particular, muchas empresas están constituidas bajo el paradigma jerárquico ya que este ha sido ampliamente desarrollado y tradicionalmente implementado. Sin embargo, considerando los cambios significativos que se han presentado en el entorno de fabricación en las últimas décadas, entre los cuales se pueden mencionar el paso de una economía local hacia una economía global, la existencia de mercados que exigen productos de alta calidad, altamente personalizados, con menores costos y con un ciclo de vida corto [5]; se hace necesario utilizar nuevos esquemas que permitan una integración empresarial (tanto horizontal como vertical), procesos flexibles y reconfigurables, y sistemas con adaptación ágil y rápida a los cambios del entorno.

El propósito de esta tesis es desarrollar un método que permita la administración del departamento de Inventario desde el paradigma de los sistemas holónicos de manufactura. Para ello se ha estructurado el presente informe en 7 capítulos descritos a continuación.

En el primer capítulo se realizó la identificación y estructuración de las funciones, flujos de información e interfaces de inventario estudiando y analizando algunos modelos del estándar internacional ISA 95 y el modelo Siemens-FIET.

El capítulo 2 está orientado a la conceptualización de los sistemas holónicos de manufactura dando un marco de referencia sobre el estado del arte y una base de conocimiento para el trabajo realizado.

El capítulo 3 contiene la presentación de la propuesta del inventario holónico basado en la arquitectura de la Unidad de Producción y los conceptos del paradigma holárquico.

En los capítulos 4 y 5 se desarrollan el modelado estructural y dinámico de las operaciones de inventario desde el paradigma de los sistemas holónicos de manufactura. Para el modelado estructural se realizaron diagramas en UML y en IDEF0, mientras que en el modelado dinámico se trabajó con redes de Petri de Workflow.

En el capítulo 6 se encuentra consignado el método para la administración del área de inventario y la introducción del caso de estudio que permite ejemplarizar el trabajo realizado.

Finalmente, en el capítulo 7 se dan a conocer las conclusiones y recomendaciones.

1. FUNCIONES, FLUJOS DE INFORMACIÓN E INTERFACES DE INVENTARIO

El inventario en muchas empresas es una partida considerablemente importante, sobre todo en las empresas manufactureras, donde más del 50% de su activo circulante está comprendido por el Inventario [6]. Dada la gran diversidad de artículos y los volúmenes que se mantienen en existencia, la gestión de inventarios es una función compleja, en la cual se deben observar un sin número de situaciones tales como: rapidez de rotación, costos de mercancías, verificación de existencias, detección de faltantes, valuación (estimar el valor de un activo) y ajuste, corrección de errores, entre otros [7].

El inventario representa los bienes tangibles que una organización posee; no es posible imaginar un sistema de fabricación que no cuente con inventarios, aun las pequeñas empresas realizan actividades como la compra de materias primas, almacenamiento de productos terminados y transferencia de material entre centros de trabajo o a lo largo de la línea de producción. El manejo de inventarios puede llegar a ser una tarea laboriosa, aún más en aquellas organizaciones en las que se cuenta con grandes volúmenes y variedades de productos. Es necesario invertir recursos e iniciar procesos continuos para evitar que el inventario se convierta en un problema serio y de pérdidas dentro de la empresa.

Los inventarios más comunes son los de materias primas o material, productos en proceso y productos terminados:

- Inventario de materia prima: aquellos productos que van a sufrir una transformación para poder estar disponibles para su venta. Es muy importante ya que sin estas existencias el proceso productivo se pararía lo que implicaría pérdidas a la empresa [6].
- Inventario de productos en proceso: son aquellos productos para los que aún no se ha concluido el proceso productivo, y por ende no están disponibles para la venta [6].
- Inventario de productos terminados: son todos aquellos productos que han completado su proceso productivo, y se encuentran disponibles para la venta [6].

Todas las empresas buscan ser rentables y productivas en la actividad económica a la que se dedican, por ello es imperante una buena administración en los diferentes componentes que la conforman. El inventario es un factor muy importante dentro de una organización el cual requiere una gestión que permita un impacto positivo principalmente en compras, producción y ventas.

Teniendo en cuenta lo anterior en todos los niveles de la empresa es necesario encontrar métodos eficientes para la administración de los inventarios que

permitan dar solución a la problemática que muchas empresas enfrentan en el manejo óptimo del mismo. Con sólo ver la expansión del mercado de atención a la salud y a la belleza se puede observar cómo las empresas han modificado y reconfigurado sus métodos de recepción de materias primas y de fabricación para responder a pedidos individuales de sus clientes o de sus proveedores [8].

Es necesario identificar cuáles son las funciones que corresponden a Inventario debido a que existen diferentes textos y documentación en donde los autores han abordado de forma variada el tema de inventario identificando aspectos importantes sobre el mismo. Se ha estudiado parte de esta documentación para tener una visión más clara de las actividades que se realizan dentro de la gestión de inventario. Particularmente, se ha considerado de gran importancia para el desarrollo de este trabajo el estándar ISA 95 y el modelo CIM de Siemens-FIET [9,10].

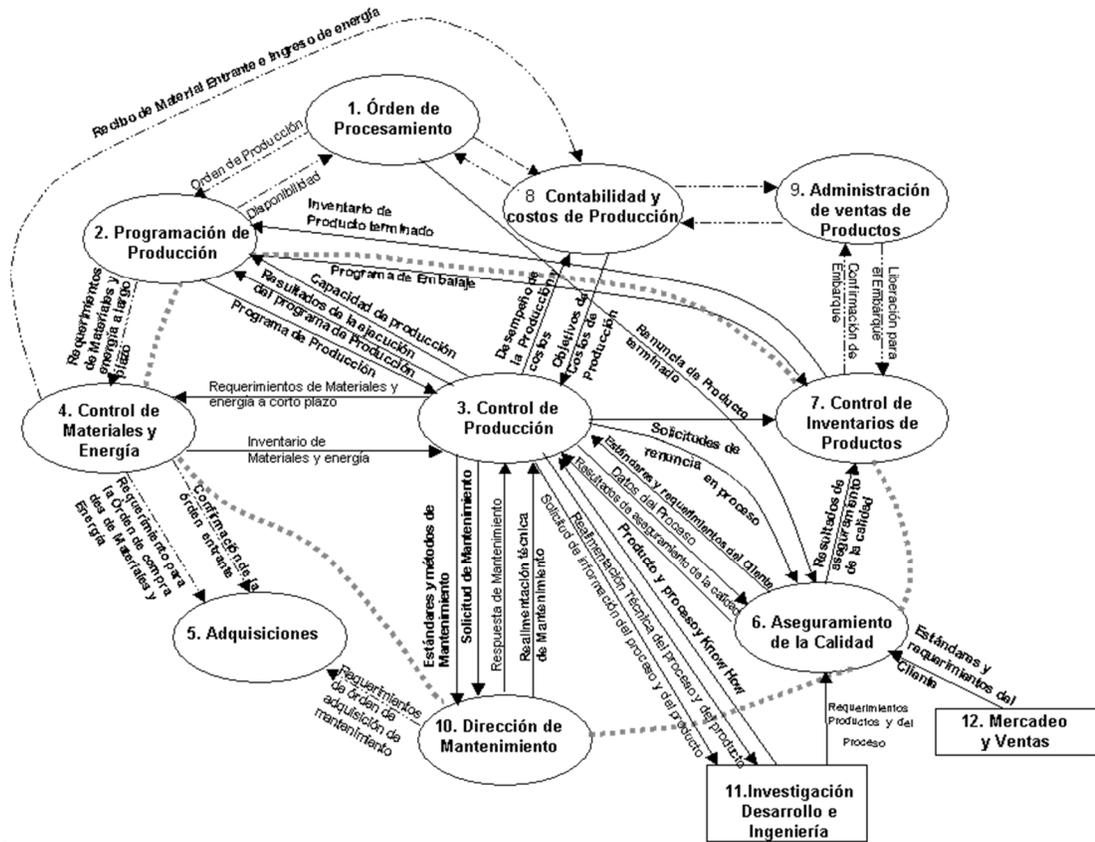
El estándar ISA 95 en su parte 3 desarrolla el inventario como uno de los principales componentes de las operaciones de manufactura. Gracias a los diferentes modelos que se plantean es posible tener una idea de cómo las actividades de Administración de Operaciones de Inventario, que han sido definidas por la norma como: las actividades dentro del nivel 3 de una planta de fabricación que coordinan, dirigen, hacen seguimiento al inventario y movimiento de material dentro de las operaciones de fabricación [11]; se relacionan con la recepción, almacenamiento, transferencia, transformación, pruebas y envíos de materiales entre y dentro de los centros de trabajo.

Entre los modelos que se encuentran definidos en el estándar, uno de los más importantes para el desarrollo del presente trabajo es, El Modelo de Datos Funcional (figura1), consignado en la parte uno del estándar, en el cual se aprecian los flujos de datos y las funciones dentro de la organización. La línea de puntos gruesos indica el límite entre la interfaz de la empresa y el control de manufactura [12], las líneas marcadas indican flujos de información de importancia para el control de la manufactura, las líneas gruesas punteadas interceptan funciones que tienen sub-funciones que pueden caer o no en el dominio de control o en el dominio de negocio de acuerdo con las políticas de la empresa [12].

A través del modelo indicado en la figura1 es posible obtener información para definir adecuadamente las funciones y flujos de información relacionados directa o indirectamente con las actividades orientadas a la gestión de inventarios.

El modelo no refleja una estructura organizacional dentro de una empresa, sino una estructura de organización de funciones.

Figura 1. Modelo de flujo de datos funcional



Fuente: Estándar de automatización ANSI/ISA—95.00.01—2000.

1.1 ANÁLISIS DEL MODELO DE FLUJO DE DATOS FUNCIONAL PARA LAS ACTIVIDADES DE INVENTARIO

Al analizar el modelo de la figura 1 se identificaron diferentes funciones y subfunciones que se encuentran relacionadas con la ejecución de actividades orientadas a la gestión de inventario. Dentro de este análisis también se reconocieron algunas funciones (ver tabla 2) que, a pesar de estar relacionadas con Inventario, no encontraban una correspondencia con los ámbitos definidos en el modelo CIM-Siemens FIET [9], empleado como guía para identificar relaciones entre las funciones y subfunciones y las diferentes áreas de la empresa. En la tabla 1 se consignó el significado de los ámbitos utilizados.

Después de complementar la información contenida en la monografía del modelo CIM-Siemens FIET y los conceptos sobre gestión de inventarios, se consolidaron las relaciones entre cada una de las subfunciones y los ámbitos de dicho modelo. En la tabla 3 se especifican dos (2) de las diez (10) funciones analizadas del

Modelo de Flujo de Datos Funcional. Para consultar la tabla completa, remítase al **Anexo B**.

Tabla 1. Significado de las siglas utilizadas en los ámbitos del modelo CIM de Siemens FIET

| AMBITO FUNCIONAL MODELO CIM SIEMENS FIET | |
|---|--|
| SIGLAS | SIGNIFICADO |
| CAD | Diseño Asistido por Computadora |
| CI | Contabilidad Industrial |
| PE | Planificación Empresarial |
| CAP | Planificación Asistida por Computadora |
| PPC | Planificación y Control de la Producción |
| CAM | Manufactura Asistida por Computadora |
| | CF: Control de Fabricación |
| CAQ | Garantía de Calidad Asistida por PC |

Tabla 2. Sub-funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional, relacionadas con Inventario, que no encuentran correspondencia con un ámbito

| SUB-FUNCIONES ISA95 DE INVENTARIO SIN CORRESPONDENCIA DIRECTA | |
|--|---|
| COD. | Sub-función |
| 1.3B | Manejo de renuncia |
| 1.5 | Determinación de las órdenes de producción |
| 2.1 | Determinar el programa de la producción |
| 2.2 | Identificar los requerimientos de materia prima a largo plazo |
| 2.3 | Determinar el programa de embalaje para los productos finales |
| 2.4 | Determinar los productos disponibles para la venta |
| 3.2.2 | Reportar información de la producción, recursos y del proceso |
| 3.2.4A | Preparar el equipo para mantenimiento |
| 3.3.2A | Chequear la programación frente a disponibilidad de materia prima |
| 3.3.2B | Chequear la programación frente a capacidad de almacenamiento de producto |
| 3.3.5 | Modificar el plan de producción por horas teniendo en cuenta la capacidad de salida del equipo, mano de obra y disponibilidad de materias primas. |
| 4.2.B | Generar solicitudes para la compra de materiales y energía basado sobre requerimientos a largo plazo |
| 4.3 | Calcular y reportar el balance de inventario, pérdidas de materia prima y utilización de energía |
| 4.5 | Notificar compras de material aceptado y fuentes de energía |
| 6.5 | Liberar material para su uso posterior (entrega o transformación posterior) |
| 6.6 | Certificar que el producto fue producido según condiciones de proceso estándares |
| 7.5 | Reportar el balance y pérdidas (de producto) a Contabilidad de costo del producto |
| 8.1 | Calcular y reportar el costo total del producto |
| 8.4 | Acumular materia prima, mano de obra, energía y otros costos para la transmisión a contabilidad |

Tabla 2. (Continuación)

| SUB-FUNCIONES ISA95 DE INVENTARIO SIN CORRESPONDENCIA DIRECTA | |
|---|--|
| COD. | Sub-función |
| 8.6 | Fijar objetivos de costos para suministro y distribución de materiales y energía |
| 9.6 | Reportar costos de envío a Contabilidad de Costo del Producto |
| 10.1 | Brindar mantenimiento para instalaciones existentes |
| 10.2 | Brindar un programa de mantenimiento preventivo |

Tabla 3. Funciones y sub-funciones del Modelo de Datos Funcional relacionadas con Inventario

| FUNCIONES | | SUB-FUNCIONES | | AMBITOS |
|-----------|-------------------------------|---------------|---|---------------------------|
| Cód. | Función | Cód. | Sub-función | |
| 1 | Procesamiento de Órdenes | 1.1 | Manejo de órdenes del consumidor, aprobación y confirmación | VENTAS |
| | | 1.3A | Manejo de reserva | VENTAS |
| | | 1.3B | Manejo de renuncia | VENTAS |
| | | 1.5 | Determinación de las órdenes de producción | CAP PPC |
| 2 | Programación de la Producción | 2.1 | Determinar el programa de la producción | PPC |
| | | 2.2 | Identificar los requerimientos de materia prima a largo plazo | CAP |
| | | 2.3 | Determinar el programa de embalaje para los productos finales | CAM: Embalaje |
| | | 2.4 | Determinar los productos disponibles para la venta | VENTAS CAM: Almacén |

Teniendo en cuenta todas las funciones y sub-funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional relacionadas con Inventario se hacen algunas aclaraciones respecto al análisis realizado para la selección de las mismas y la clasificación en los diferentes ámbitos. Para la organización de los ámbitos se tiene en cuenta el trabajo del Modelo Siemens FIET [9] sin embargo en algunos casos se hace necesario replantear dicha clasificación de acuerdo a las necesidades y objetivos de las actividades de Inventario.

La sub-función **Determinar el programa de embalaje para los productos finales** fue inicialmente clasificada dentro del ámbito PPC. Sin embargo para el propósito de las actividades de inventario se ha considerado que, a pesar de ser un programa, este ya es un nivel muy alto para realizarlo en relación directa con el inventario. Lo que se debe considerar es un flujo de información que permita tener

los datos y la sincronía necesarios para llevar a cabo esta sub-función por parte de CAM: Embalaje (donde se ha clasificado después del análisis).

La sub-función ***Determinar los productos disponibles para la venta*** está clasificada dentro del ámbito ventas lo cual es correcto ya que ventas debe estar en condiciones de llevar a cabo esta tarea y así tener un control de los pedidos de los clientes. También se ha considerado que esta sub-función sea responsabilidad de CAM: Almacén considerando que este último lleva un control detallado sobre los productos y materiales que se encuentran físicamente en los sitios de almacenamiento y almacenes intermedios en fabricación.

Para el caso de la sub-función ***Reportar información de la producción, recursos y del proceso*** puede llegar a considerarse el caso particular en el que se reporta información relacionada con el daño de equipos empleados en las operaciones de inventario.

Las sub-funciones ***Chequear la programación frente a la disponibilidad de materia prima*** y ***Chequear la programación frente a la capacidad de almacenamiento de productos*** fueron clasificadas dentro del ámbito PPC teniendo en cuenta el control y verificación de los programas de producción. Sin embargo también se ha tenido en cuenta que estas están relacionadas con CAM: Almacén ya que este tiene un control sobre las mercancías incluyendo materias primas y envía informes de disponibilidad y capacidades de inventarios a PPC.

Algunas sub-funciones como ***Chequear la programación frente a disponibilidad de personal y equipo***, que son generales o aplican para diferentes áreas, se tomarán en cuenta como parte de inventario. En este caso en particular se tendrá en cuenta la sub-función considerando personal y equipo de inventario.

Para ***Generar solicitudes para la compra de materiales y energía basadas sobre requerimientos a largo plazo*** se requiere que CAP y CAM: Almacén se encuentren involucrados; CAP porque es una planeación a largo plazo y Almacén porque es quien controla los inventarios y tiene el conocimiento sobre las existencias y los productos o materiales con los que se cuenta.

Dentro del modelo Siemens FIET la sub-función ***Calcular y reportar el balance de inventario, pérdidas de materia prima y utilización de energía*** se clasificó dentro del ámbito PPC; sin embargo también se ha considerado que está incluida dentro de CAM: Almacén donde se pueden presentar pérdidas de materiales y productos y hacer un balance del inventario.

Reportar el progreso de las compras a quien lo requiera es una sub-función considerada dentro de este trabajo porque se puede enviar un estado de las compras a inventario para que este tenga en cuenta información importante como el día en que llegan los materiales y así preparar el almacén y la entrada de

mercancía. Dependiendo de cada organización y los procesos de inventario que desarrollen, saber el estado de las compras puede brindar la posibilidad de adelantar tareas que permitan optimizar el manejo de inventarios.

Calcular y reportar el costo total de producción se incluyó dentro del desarrollo de este trabajo porque se considera que dentro del costo total del producto se encuentran inmersos los costos por actividades de inventario como el almacenamiento, la transferencia, entre otros. Las actividades de inventario no agregan valor al producto pero si consumen presupuesto necesario para el proceso productivo desde la recepción de mercancías hasta la entrega al cliente.

La sub-función **Fijar objetivos de costos para suministro de materiales y distribución de materiales y energía** se tiene en cuenta como parte de inventario porque es necesario que se tenga en cuenta como una restricción y un flujo de información hacia inventario. Los objetivos de costos permiten tomar medida para cumplir un presupuesto y tener control sobre el mismo, así como hacer una buena planificación.

En la función **Administración de Mantenimiento** se escogieron dos sub-funciones planteadas en el estándar ISA 95 pero se modificaron para que cumplan su papel dentro de inventario:

- La sub-función **Brindar mantenimiento para instalaciones existentes** es realizada por el departamento de Mantenimiento, sin embargo, Inventario debe disponer sus instalaciones para permitir esta tarea. También se considera que Inventario puede brindar ayuda y disponer sus recursos en la búsqueda de un mejor desempeño por parte de Mantenimiento. Esto permite que estas dos áreas trabajen en conjunto y puedan sincronizarse exitosamente.
- La sub-función **Brindar un programa de mantenimiento preventivo** se modificó y se renombró como **Recibir el programa de mantenimiento preventivo**. Se escogió como una sub-función dentro de Inventario porque es necesario tener en cuenta cuando se realizarán las actividades de mantenimiento preventivo ya que estas pueden modificar la rutina de Inventario. Además se requiere incluirlas dentro del Programa Detallado para que no hayan contratiempos.

Gracias al análisis realizado en [8] fue posible identificar las interfaces y los flujos de información del Modelo Siemens FIET relacionados con las actividades de inventario. A manera de ejemplo, a continuación se presentan los flujos de información desde y hacia Planeación Empresarial, Contabilidad Industrial, CAQ y Ventas. Para ver todos los flujos de información de inventario tomados del modelo Siemens FIET consultar el **Anexo B**.

Tabla 4. Flujos de información desde y hacia Planeación Empresarial, Contabilidad Industrial, CAQ y Ventas

| Interfaz | | | Contenido de datos |
|-------------------------------|---|---------------------------|---|
| PE | ➔ | COMPRAS | Objetivos de costos para suministro y distribución de materiales y energía (8.6) |
| Contabilidad Industrial CI | ← | COMPRAS | Recibo y costos de Material entrante e ingreso de energía |
| | ← | CAM | Datos de inventario que se requieren para el cálculo del costo total de producción |
| | ➔ | CAD | Datos de inventario que se requieren para el cálculo total del costo del producto |
| | ← | Control de la fabricación | Balance y pérdidas de producto (costos) Costos de envío |
| CAQ | ← | Control de la fabricación | Cantidad y causa de rechazo (causas por manejo en inventario) |
| | ➔ | CAM | Certificado que avala que el producto fue producido según condiciones de proceso estándares |
| | ↔ | Datos maestros | Datos de materiales |
| VENTAS | ➔ | PPC | Consulta de existencias y plazos de suministro |
| | ← | | Datos de existencias |
| | ➔ | CAD | Renuncia de producto terminado |
| | ➔ | Expedición | Orden de expedición y autorización de suministro |

Se realizó un análisis sobre los flujos para seleccionar adecuadamente cuales guardan relación con las actividades de Inventario. A continuación se presentan las aclaraciones que se consideran importantes dentro del análisis y selección realizados.

El flujo de información que se ha definido en el modelo SIEMENS FIET referente al **Costo total de producción** se analizó y se consideró que para el caso de inventario se requiere un flujo de información que contenga los **Datos de inventario que se requieren para el cálculo del costo total de producción**, por lo tanto sólo se define como flujo de información hacia CI. De forma similar, el flujo **Costo total de producto** se redefinió como **Datos de inventario que se requieren para el cálculo del costo total del producto**.

El flujo de información **Renuncia de producto terminado** no tiene relación directa con inventario pero en caso de que se presente la renuncia de productos el inventario, que en un principio se había comprometido, no sufrirá una disminución

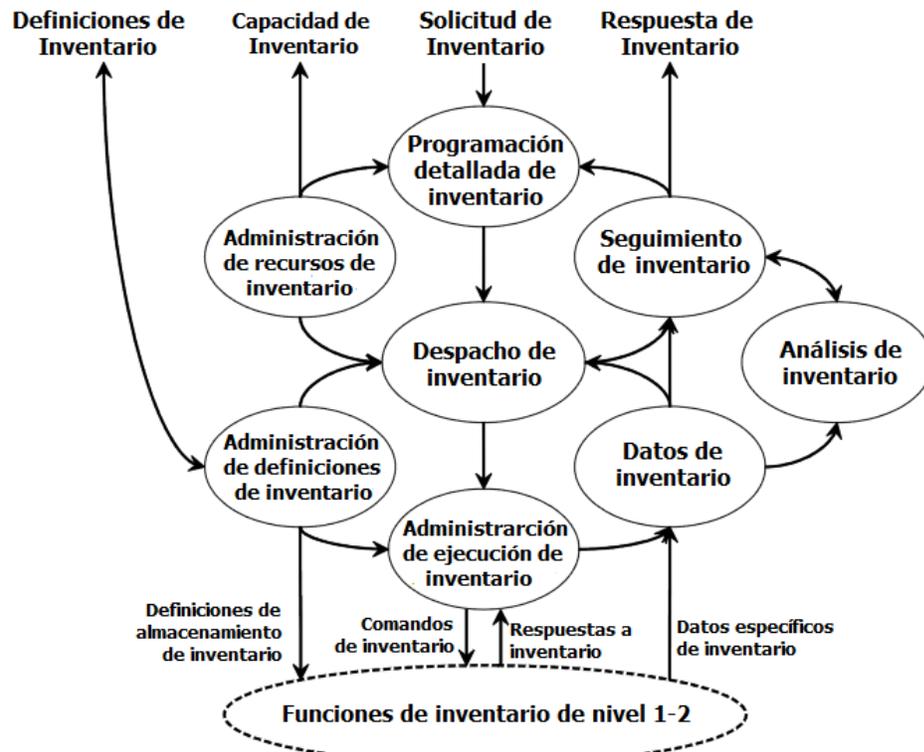
y por lo tanto se deberán actualizar los datos. Si la renuncia se produce en medio de una transferencia de productos es necesario reconfigurar los procesos y cambiar el programa de inventario en la marcha.

El flujo de información relacionado con **Consulta de existencias de requerimientos de material y energía a largo plazo** se ha interpretado como el resultado de averiguar si existe algún tipo de requerimiento como el mencionado anteriormente.

1.2 ANÁLISIS DEL MODELO DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO (AOI)

La parte 3 del estándar ISA-95 ha propuesto el Modelo de Actividades de Administración de Operaciones de Inventario (Figura 2), el cual es un referente fundamental para el desarrollo del presente proyecto, ya que define qué actividades de transferencia pueden ser realizadas y la secuencia relativa de las mismas, pero no cómo ellas deberían ejecutarse en una estructura organizacional específica [11].

Figura 2. Modelo de Administración de Operaciones de Inventario



Fuente: estándar de automatización ANSI/ISA—95.00.03—2005.

Los óvalos en el modelo de gestión de operaciones de inventario indican colecciones de actividades, identificadas como las principales funciones. Las líneas con puntas de flecha indican un flujo de información importante entre las actividades. No todos los flujos de información se representan en el diagrama de operaciones de inventario. En cualquier aplicación específica, la información de cualquier actividad puede ser solicitada por cualquier otra actividad. La figura 2 sólo muestra algunos flujos de información entre las actividades principales [11].

Según el estándar las actividades generales de administración de operaciones de inventario son [11]:

- La gestión y el seguimiento del inventario de producto y / o material.
- Realización periódica y/o bajo demanda de conteos de inventario.
- La gestión de la transferencia de material entre centros de trabajo.
- Medir e informar sobre el inventario y las capacidades (capabilities) de transferencia de materiales.
- Coordinar y controlar al personal y equipos utilizados en la transferencia de material.
- Dirigir y supervisar la transferencia de material hacia producción, calidad o mantenimiento.
- Reportar sobre inventario a producción, la calidad, administración de operaciones de mantenimiento y/o actividades del nivel 4.
- Encaminar la materia prima hacia y desde almacenamiento.
- Identificar paquetes fuera de programación. (Identificar los programas de embalaje).
- Organizar y supervisar el movimiento de material en el almacenamiento.

Las actividades de inventario que se refieren a los materiales se pueden agrupar en 6 categorías funcionales: recepción de materiales, almacenamiento de material, movimiento de material, la transformación o conversión de material, pruebas de material, y el envío de material. El modelo de la figura 2 se enfoca en las funciones de movimiento y almacenamiento de material.

A continuación se definen brevemente las actividades de administración de operaciones de inventario propuestas en el estándar. Para consultar más información sobre el *Modelo de Administración de Operaciones de Inventario* (figura2) remítase al **Anexo A**.

- Administración de Definición de Inventario: se refiere al conjunto de actividades que se relacionan con la gestión de las reglas, instrucciones y/o requisitos relacionados con el movimiento y almacenamiento de material.

- **Administración de Recursos de Inventario:** se define como el conjunto de actividades que gestionan los recursos utilizados en los procesos de movimiento y almacenamiento de material.
- **Programación Detallada de Inventario:** conjunto de actividades que generan un programa detallado de inventario con base en las solicitudes de inventario. Se realizan diferentes actividades como comparaciones para establecer si la situación real de inventario concuerda con el programa definido, establecer la capacidad comprometida, crear órdenes de trabajo, entre otras.
- **Despacho de Inventario:** conjunto de actividades que permiten la asignación y envío de órdenes de trabajo de inventario hacia los recursos de inventario apropiados identificados en el programa de inventario y las definiciones correspondientes. Los recursos no asignados como parte del programa detallado de inventario pueden ser asociados por la actividad de “Despacho de Inventario”
- **Administración de Ejecución de Inventario:** conjunto de actividades que dirige la ejecución de los trabajos según lo especificado por los elementos contenidos en la lista de despacho de inventario.
- **Recolección de Datos de Inventario:** actividades que reúnen, recopilan y reportan datos sobre las operaciones de inventario y la manipulación de materiales.
- **Seguimiento de Inventario:** actividades que manejan la información sobre las solicitudes de inventario e informan sobre las operaciones de inventario. Las actividades pueden adquirir y presentar los informes referentes a las eficiencias de traslado relativo y utilización de los recursos manejados en el inventario.
- **Análisis de Inventario:** conjunto de actividades que analizan la eficiencia de inventario y los recursos utilizados para mejorar los procesos realizados y el uso óptimo de los activos de la empresa. El análisis de inventario también incluye análisis de trazabilidad de recursos, información sobre calidad de materiales, evaluación de proveedores, entre otros.

Teniendo en cuenta las diferentes actividades que se llevan a cabo dentro de cada función del modelo, se estructuró la tabla 3; en ella se han codificado las funciones y sub funciones para tener mayor claridad en el proceso de análisis de las mismas. Posteriormente, se procedió a determinar cuáles ámbitos del modelo CIM de Siemens-FIET se podrían asignar. Para consultar el resultado final de esta tabla remitirse al **Anexo B**.

Tabla 5. Actividades de Administración de Operaciones de Inventario

| FUNCIONES | | SUB-FUNCIONES | | ÁMBITO |
|-----------|---|---------------|---|--------|
| Cód. | Función | Cód. | Sub-Función | |
| A | Administración de Definiciones de Inventario | A1 | Manejo de información sobre los criterios de transferencia de materiales | CAP |
| | | A2 | Gestión de nuevas definiciones de inventario | CAP |
| | | A3 | Gestión de cambios en las definiciones de inventario. | CAP |
| | | | | CAM |
| | | A4 | Proporcionar definiciones de inventario para otras aplicaciones, personal y actividades. | CAP* |
| | | A5 | Administrar el intercambio de información sobre las definiciones de inventario con las funciones del nivel 4, al nivel de detalle requerido por las operaciones de negocio. | CAP |
| | | A6 | Optimizar las definiciones de inventario basándose en análisis de las pruebas de calidad. | CAP |
| A7 | La gestión de las definiciones de los indicadores clave de rendimiento (KPI) asociadas a las pruebas de inventario. | CAP | | |
| | | CAQ | | |

Todas las funciones y sub-funciones del modelo fueron clasificadas dentro de los ámbitos funcionales (Anexo B) y en algunos casos se requiere hacer algunas aclaraciones sobre el análisis y/o los criterios que se tuvieron en cuenta para dicha clasificación.

La sub-función **Proporcionar definiciones de inventario para otras aplicaciones, personal y actividades** se clasificó principalmente dentro del ámbito Planificación Asistida por Computadora (CAP); sin embargo se tiene en cuenta que puede estar presente en otros ámbitos, ya que la función define que se informe sobre las definiciones a quien sea necesario (aplicaciones, personal y actividades).

Las sub-funciones **Asegurar que los cargos sean correctos** (dentro de inventario), **Asegura que el entrenamiento sea adecuado para el personal al que se le asignan las tareas** y **Mantener información de la prueba de personal calificado** son difíciles de clasificar dentro de alguno de los ámbitos ya que tanto el modelo CIM Siemens como el estándar ISA95 tienen falencias frente al desarrollo del talento humano. Estas funciones pertenecen al área de Recursos Humano y por lo tanto se ha establecido que puede llegar a incluirse dentro del ámbito CAP.

Para la clasificación de la sub-función **Mantener la información de prueba de capacidad de equipo** dentro del ámbito PPC se tuvo en cuenta que en el modelo Siemens-FIET existe en PPC una sub-función que se encarga de determinar el

porcentaje de estado de la capacidad (involucrada, disponible e inalcanzable). Si se considera que se realizan pruebas para determinar dicha capacidad se tendrían que almacenar los resultados para llevar procesos de seguimiento sobre los equipos.

Muchas de las funciones de inventario se desarrollan dentro del ámbito CAM ya que ahí se encuentra el Almacén, La Recepción de Mercancías, el Transporte y el Embalaje, los cuales están estrechamente relacionados con las actividades de inventario. Por esta razón varias sub-funciones se clasificaron en CAM como parte de todo el ámbito y no de una sección específica dentro de Manufactura Asistida por Computadora (CAM). En este sentido la sub-función **Crear órdenes de trabajo de inventario de acuerdo con las funciones del nivel 4** se clasificó dentro de CAM llevándose a cabo en conjunto por las partes que lo componen.

De igual manera todas aquellas sub-funciones que se clasifiquen dentro de CAM, sin especificación exacta, se entenderán como tareas realizadas en conjunto por todas o varias de las partes que lo componen.

Se debe tener en cuenta que la clasificación de algunas sub-funciones se llevó a cabo considerando que CAM: transporte puede ser visto como un transporte interno en planta y un transporte externo de los productos, mercancías, materiales o insumos que entran o salen de la empresa y CAM: expedición puede ser visto como expediciones internas (inclusive dentro de CAM) o externas a la planta.

En el caso de la sub-función **Proporcionar información sobre la calidad del material recibido** se tuvo en cuenta que los ámbitos de CAQ y CAM: banco de pruebas son los encargados de realizar el análisis de los materiales y generar la información relacionada con este, dicha información es enviada a CAM: entrada de materiales, que se encarga de cumplir con la sub-función antes mencionada.

Para la asignación de los ámbitos de la sub-función **Proporcionar información sobre el tiempo para su uso en evaluaciones de los proveedores** se consideró que hace referencia a cuánto tiempo puede pasar antes de que el material que ha llegado a la planta se dañe, según apreciaciones realizadas por parte de los proveedores.

Flujos de información para las actividades Modelo AOI

Dentro del modelo de Actividades de Administración de Operaciones de Inventario se pueden definir flujos de información e interfaces entre las diferentes funciones que lo componen. A continuación se incluye una tabla con los flujos de información de una de estas funciones. Para consultar a la tabla completa remítase al **Anexo B**.

Tabla 6. Flujos de información e interfaces de la función Recolección de Datos de Inventario del modelo AOI

| Interfaz | | Contenido de datos | Ámbito del modelo CIM | |
|------------------------------------|-------------------------|--|--|--------------------------------|
| Recolección de datos de inventario | ➔ | Seguimiento de inventario | Datos históricos de recursos de inventario. | CAM: Control de la fabricación |
| | ➔ | Despacho de inventario | Estado actual de los recursos de inventario | CAM: Control de la fabricación |
| | ← | Administración de la ejecución de inventario | Informe de eventos y resultados | CAM: Control de la fabricación |
| | | | Estado de órdenes de trabajo (situaciones de WIP, lugar de almacenamiento de trabajo en proceso) | PPC |
| | | | | CAM |
| | ← | Seguimiento de mantenimiento | Partes de equipo desgastadas o consumidas | CAM: conservación |
| | ← | Seguimiento de calidad | Datos de muestras | CAQ |
| | ← | Seguimiento de producción | Material producido, consumido. | |
| | ← | Administración de recursos de inventario | Estado actual de recursos de inventario | CAM |
| | | | Recursos utilizados | CAM |
| ➔ | Análisis de inventarios | Balance de recursos de inventarios | | |
| ← | Niveles 1 y 2 | Datos específicos de inventario | CAM | |

En este caso la función de **Administración de recursos de inventario** (Tabla 8 Anexo B) envía información relacionada con la capacidad de recursos disponibles, comprometidos e inalcanzables, con el fin de facilitar el proceso de creación del programa detallado de inventario, pues a partir de dicha información se puede establecer si es posible cumplir con la solicitud de inventario. De la misma forma, esta función recibe información relacionada con la capacidad de recursos comprometidos, pues dentro del programa detallado de inventario se realiza la asignación de los mismos para dar cumplimiento a las solicitudes de inventario.

La ubicación o información de lotes y sub-lotes que es mencionada en algunas funciones del AOI es extendida a los diferentes tipos de materiales que clasifica el estándar ISA 95 en los cuales se incluyen materiales consumibles, consumidos, productos intermedios y productos terminados.

1.3 SEGUNDO ANÁLISIS SOBRE LOS FLUJOS DE LAS ACTIVIDADES DE INVENTARIO

El primer análisis de los flujos de información contenidos en el Modelo Siemens FIET muestra las interfaces de entrada y salida por ámbitos funcionales pero no se identifica claramente como fluye la información entre las funciones. Tampoco se tiene una interacción entre los flujos del modelo funcional y el AOI puesto que se han estudiado independientemente.

Sin embargo, en este punto, se ha planteado la unión entre ambos modelos logrando complementar las actividades de Inventario. El modelo AOI permite estructurar las actividades orientadas al movimiento y almacenamiento de material y el Modelo de Flujo de Datos Funcional brinda la información referente a la recepción de material, manejo de productos, administración de envío de producto, entre otros; así como también permite ver algunas relaciones importantes con otras áreas de la empresa.

La agrupación de las actividades de ambos modelos proporciona la posibilidad de estructurarlas de forma más cooperativa y establecer cómo Inventario puede participar en el cumplimiento de objetivos más generales dentro de la organización como es el caso de la programación y el cumplimiento del programa de producción.

Mediante el segundo análisis realizado se organizaron los flujos de información teniendo en cuenta como se relacionan entre las funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional y el Modelo AOI.

A continuación se hacen algunas aclaraciones sobre los nuevos resultados obtenidos:

- Considerando que a lo largo de las diferentes tablas se presentaban una serie de flujos de información con diferentes nombres pero igual significado, estos fueron unificados, con el fin de evitar la redundancia de información entre las diferentes funciones. Ejemplos de esto son:
 - ✓ La palabra *embarque* dentro de los flujos **Liberación de embarque** y **Confirmación de embarque** fue remplazada por la palabra envío dado que el uso de la primera puede generar confusión al manejar el flujo de información.
 - ✓ El flujo **Comunicación de transporte** se unió con **Anuncio de transporte** pues el significado de las palabras *Comunicación* y *Anuncio* es similar.

- Algunos de los flujos que se encuentran consignados en las tablas 2 a la 7 del Anexo B se unificaron con otros presentes en la tabla de flujos de las funciones de Administración de Operaciones de Inventario (AOI) pues los ubicados en las primeras son similares o se encuentran contenidos dentro de los flujos del AOI. Los flujos unificados se indican a continuación.
 - ✓ **Propuesta del tamaño de lote** que se envía desde el ámbito PPC hacia CAP es el mismo que de la función *C (Programación Detallada de Inventario)* del AOI es enviada a la función *D (Despacho de Inventario)* como **Tamaño de lote**.
 - ✓ El flujo **Orden de trabajo de manufactura de inventario** enviado desde PPC hacia CAM (control de la fabricación) se considera abarcado en el flujo que la función *C* envía a *D* en el cual se encuentran contenidas las **Órdenes de trabajo**. Cabe destacar que del primero flujo se considera solamente la orden de trabajo correspondiente a inventario pues dentro de los fines del presente proyecto no se ha incluido el manejo de órdenes de trabajo de manufactura.
 - ✓ Desde la función *C* se envía el flujo **Capacidad de recursos (comprometido, disponible, inalcanzable)** hacia la función *B*, se consideró que este abarca la información enviada desde PPC hacia CAP que se encuentra relacionada con **Datos de capacidad**.
 - ✓ Se contempló que el flujo **Reservas de materiales** que es enviado por PPC hacia ALMACÉN es el mismo **Reservas de recursos** que es enviado desde *B* hacia *Nivel 4*.

Como resultado de tener la unión de los dos modelos, surgen nuevas relaciones a través de los flujos de información entre las funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional y las del AOI. Las nuevas relaciones de flujos identificadas para la función Procesamiento de Ordenes se observan en la Tabla 7. Para consultar la tabla completa remítase al **Anexo B**.

Tabla 7. Flujos de información para la función Procesamiento de Órdenes

| Interfaz | | | Contenido de datos |
|--------------------------|---|--|----------------------------|
| Procesamiento de órdenes | ← | Administración de recursos de inventario | Disponibilidad de recursos |

Tabla 7. (Continuación)

| Interfaz | | Contenido de datos | |
|----------|---|--|--|
| | ← | Control de inventario del producto | Inventario de productos terminados |
| | → | Nivel 4 | Aprobación o rechazo de orden del consumidor |
| | ← | | Orden de reserva de recursos y/o productos terminados. Orden de renuncia de recursos y/o productos terminados. |
| | → | Administración de definiciones de inventario | Reserva de recursos y/o productos terminados. Renuncia de recursos y/o productos terminados |
| | → | Programación detallada de inventario | Reserva de recursos y/o productos terminados. Renuncia de recursos y/o productos terminados |

Como resultado del segundo análisis, en donde se obtuvo una integración de los flujos del Modelo de Flujo de Datos Funcional y el Modelo AOI, surgieron nuevos flujos que permiten complementar las relaciones entre las actividades del modelo AOI que habían sido establecidas en la tabla 9 del **Anexo B**.

A continuación se incluye la tabla 8 que contiene las nuevas relaciones obtenidas del segundo análisis para los flujos del modelo AOI. Para consultar la tabla completa remítase al **Anexo B**.

Tabla 8. Definición de los nuevos flujos para las funciones del AOI, Administración de Definiciones de Inventario y Administración de Recursos de Inventario

| Interfaz | | Contenido de datos | |
|--|---|-------------------------------|---|
| Administración de definiciones de inventario | ← | Programación de la producción | Capacidad necesaria. Plazo de suministro. |
| | ← | Aseguramiento de la calidad | Normas para el producto de interés para inventario |
| | ← | Procesamiento de órdenes | Reserva de recursos y/o productos terminados. Renuncia de recursos y/o productos terminados |
| | ← | Nivel 4 | Normas relacionadas a las operaciones de inventario. Solicitud de transporte. |

Tabla 8. (Continuación)

| Interfaz | | Contenido de datos | |
|--|---|--------------------------------------|---|
| Administración de recursos de inventario | → | Adquisición | Orden de expedición. Adquisiciones futuras. |
| | ← | Control de material y energía | Comunicación de recepción de mercancías. Lista diaria de entrada de mercancías. Variación de existencias. Inventario de material y energía. Solicitud/devolución de materiales y herramientas |
| | ← | Administración del mantenimiento | Especificaciones de mantenimiento relacionadas con los recursos de inventario |
| | → | Programación detallada de inventario | Cantidad de recursos de inventario |
| | → | Procesamiento de órdenes | Disponibilidad de recursos |

1.3.1 Aclaraciones sobre los nuevos flujos para el modelo AOI

- El flujo de información relacionado con **solicitud de transporte** es recibido por la actividad **Administración de Definiciones de Inventario** quien después de realizar el análisis correspondiente la puede incluir dentro de las definiciones necesarias para realizar el programa detallado de inventario.
- Desde **Administración de Definiciones de Inventario** se reciben órdenes generales de inventario que posteriormente son enviadas por parte de despacho como órdenes específicas en las listas de despacho. .
- Para obtener los **Balances y pérdidas de producto** se recolecta la información pertinente por parte de **Recolección de Datos de Inventario** quien la envía a **Análisis de Inventario** que es quien finalmente la analiza y envía los datos requeridos.
- El flujo de información **Activación de transporte** que se envía desde **Despacho de Inventario** hacia funciones como **Control de Material y Energía** y **Administración de Envío del Producto** incluye el transporte que se puede llevar a cabo con productos terminados hacia camiones, actividades orientadas a producción en las que se emplean materiales o herramientas del área de inventario.

En las tablas de los diferentes flujos de información y de las funciones y subfunciones respectivas se relacionan actividades del área de calidad, estas son nombradas de forma distinta en cada tabla, por ejemplo se encuentra la función **Aseguramiento de la calidad**, también se presenta un flujo de información entre ciertas actividades del AOI y **Seguimiento de la calidad** o **Análisis de Inventario**. Teniendo en cuenta que el uso de estas puede ser confuso se aclara que el **Aseguramiento de la calidad** está orientado a todas aquellas actividades desarrolladas en piso planta, de Inventario, Producción, Mantenimiento o Calidad, con las que se vela porque el producto obtenido siga los estándares establecidos. Entre tanto el **Seguimiento de la calidad** y el **Análisis de calidad** se centran en las actividades de manejo y transferencia de materiales dentro de Inventario. Lo anterior indica que estas últimas áreas pueden estar inmersas en la primera.

2. MARCO DE REFERENCIA DE LOS SISEMAS HOLONICOS DE MANUFACTURA

El objetivo de este capítulo es presentar la base teórica necesaria para el desarrollo del proyecto. Se requiere, entre otras cosas, de una base de conocimientos acerca de los sistemas holónicos de manufactura para lograr los objetivos propuestos.

2.1 CARACTERISTICAS DESEABLES PARA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA

El creciente desarrollo de los mercados a nivel mundial es uno de los factores que influye en el cambio continuo de las necesidades de la sociedad actual, ésta es cada vez más voluble ante los productos ofertados y por ende obliga a aquellos sectores que se dedican a satisfacer los requerimientos de las personas a contar con la capacidad de adaptarse y acoplarse a las nuevas exigencias, sin que esto implique grandes inversiones o el posible fracaso en la prestación de sus servicios.

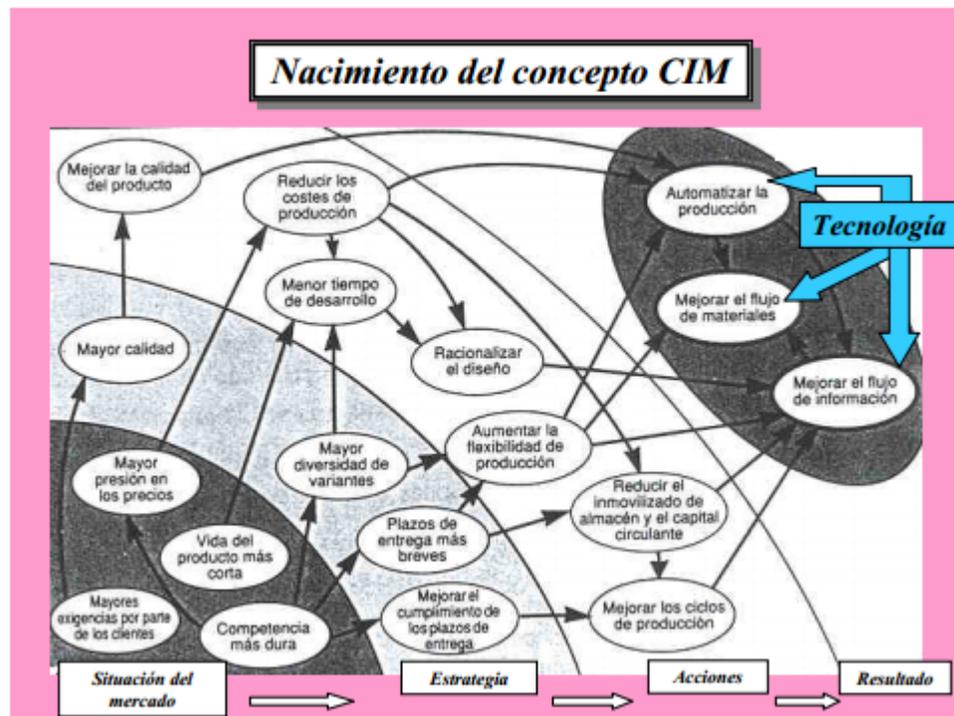
Atendiendo a lo anterior en los años 90's se desarrollaron diferentes proyectos como *Next Generation Manufacturing* (NGM) [13] y *Visionary Manufacturing Challenges for 2020* (VMC2020) [14] con el fin de dar a los fabricantes de Estados Unidos un marco a seguir para alcanzar el éxito en la economía global del siglo XXI. Dentro de aquellos estudios se logró concluir que para tales empresas era necesario contar con características como: el uso de una base de conocimiento de la ciencia de fabricación que permita implementar procesos reconfigurables y escalables, equipos y plantas que se adapten rápidamente a las necesidades específicas de producción, entre otras [15].

Es así como en la actualidad se está cambiando la forma tradicional en la que una empresa de fabricación solía ser gestionada [15]. Según Shen la próxima generación de los sistemas de manufactura estará fuertemente orientada a su respuesta en el tiempo real sin descuidar el precio y la calidad de los productos. Las características de este tipo de organizaciones incluyen la integración y la cooperación empresarial, la agilidad en la respuesta a las peticiones de los clientes, la escalabilidad, la capacidad de tolerancia a fallos, así como también la reconfigurabilidad tanto en software como en hardware, estas y otras pueden llegar a ser esenciales para los sistemas de fabricación.

Estas características no han sido ajenas al desarrollo de las actividades dentro del sector industrial desde hace ya varios años. Un ejemplo claro de esto es el concepto de CIM (Manufactura Integrada por computador) [16], el cual surgió a

principios de la década del 70 como una opción para afrontar los cambios y situaciones que se presentaban en el mercado y que pueden apreciarse en la figura 3. Dichas características se asemejan a aquellas que se presentan hoy en día y permiten apreciar que tanto en esa época como en la actualidad se buscaba satisfacer un objetivo común; pero al mismo tiempo se observa que continúa siendo necesario ejecutar labores dentro de la industria manufacturera en pro del desarrollo de actividades más eficaces y eficientes que le entreguen la posibilidad de caminar al ritmo de las necesidades y exigencias del mercado actual, aprovechando las diferentes herramientas y oportunidades que en él se presentan, para de esta forma dar paso a empresas más dinámicas y capaces de afrontar nuevos retos.

Figura 3. Nacimiento del concepto CIM



Fuente: Sistemas de información para administración de operaciones 2003. Consultado en http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/modemp/01_CIM.pdf

A continuación se describen brevemente algunas características deseables en las empresas manufactureras:

- Entornos heterogéneos e interoperabilidad: Las empresas de manufactura deben estar en capacidad de adecuar o hacer interactuar componentes software y hardware totalmente heterogéneos, tanto en sus actividades de producción como en sus entornos administrativos. Esta interoperabilidad

deberá ser obtenida bajo criterios óptimos de respuesta en tiempo en el procesamiento y consolidación de la información [17].

- Cooperación: La cooperación en la interacción de las empresas de manufactura con sus proveedores, socios, y clientes debe ser eficiente, satisfaciendo los tiempos de respuesta esperados [18].
- Integración de talento humano con hardware y software: Las personas, los computadores y los equipos de automatización y control necesitan estar integrados para trabajar de manera colectiva durante todo el ciclo de vida del producto, con el objetivo de obtener un rápido acceso al conocimiento y a la información [5]. Por tanto, se requiere un fuerte soporte de las fuentes de información heterogéneas sobre entornos de comunicación bidireccional.
- Agilidad: Este corresponde a uno de los principales retos de las empresas de manufactura para asegurar su competitividad, ya que ellas deben adaptarse rápidamente a los entornos actuales altamente fluctuantes. Por tanto, los esquemas de organización deben ser altamente dinámicos permitiendo a los recursos de fabricación capacidades de reconfiguración y al nivel administrativo una efectiva interacción con proveedores y clientes, los cuales idealmente deberán ser contratados de manera dinámica y sólo por el tiempo necesario para cumplir con tareas específicas [19, 20, 21, 22,23].
- Escalabilidad: Las empresas de manufactura deben tener la capacidad de adicionar y/o sustituir los recursos necesarios en cualquier nivel de la organización, cuando el cumplimiento de objetivos lo requiera [21, 22, 23, 24]. Esto debe realizarse sin alterar los enlaces de comunicación previamente establecidos dentro de la organización.
- Tolerancia a fallos: Las empresas de manufactura deben ser tolerantes a fallas en cualquier nivel de la organización con el objetivo de anticipar, detectar y recuperarse de situaciones que afecten el cumplimiento de sus objetivos y su respuesta en el tiempo [21, 22, 23, 24].

Teniendo en cuenta lo anterior es imperante que las diferentes industrias del sector manufacturero enfoquen sus esfuerzos en realizar procesos que permitan alcanzar adecuadamente las diferentes características antes mencionadas. Para esto es de suma importancia que dentro de ellas se emplee un paradigma, que al considerarse como un esquema formal de organización, brinda una base sólida para la toma de decisiones y la ejecución de actividades.

2.2 PARADIGMAS DE AUTOMATIZACIÓN

Los paradigmas que pueden ser utilizados para la integración de las empresas de manufactura se explican a continuación:

- **Paradigma jerárquico:** los sistemas que funcionan bajo este tipo de paradigma cuentan con una estructura rígida conformada por una serie de niveles jerárquicos que son por naturaleza centralizados, esto implica que no es posible reaccionar de manera ágil ante la presencia de variaciones. Este paradigma es útil y robusto para procesos dentro de los cuales los productos sufren pocas o ninguna modificación durante su ciclo de vida, pero ofrecen poca adaptabilidad, flexibilidad y escalabilidad del sistema cuando se hacen necesarios cambios dentro del proceso, bien sea a nivel de programación o de ejecución [25].

Los sistemas jerárquicos no ofrecen adaptabilidad a las situaciones de incertidumbre propias de la producción y es difícil adicionar y/o eliminar nuevas tecnologías, productos y/o funciones, debido a que un cambio en la parte baja de la pirámide generará modificaciones al sistema completo, presentándose así una alta probabilidad de errores e incrementos relevantes en la inversión de tiempo y dinero. Es así como este tipo de arquitecturas son muy costosas y difíciles de mantener e implementar [26].

- **Paradigma heterárquico:** dentro de este se entrega total autonomía local a las unidades básicas llamadas agentes. Para lograr cumplir los objetivos globales que se planteen se genera un proceso de cooperación, a través de procesos de negociación, entre las diferentes unidades. En el enfoque heterárquico no son permitidas las jerarquías para que de esta forma se pueda entregar el poder de decisión a las unidades básicas, esto disminuye la robustez que puede ser entregada por un sistema con paradigma jerárquico.

Gracias a este paradigma es posible obtener sistemas capaces de reaccionar de manera adecuada ante cambios en el entorno puesto que la negociación que se realiza entre las unidades básicas les permite a estas analizar las diferentes alternativas de solución, presentes en el momento en que esta se realiza, para determinada situación. Aunque este proceso le brinda gran ventaja a los sistemas, no existe ninguna restricción relacionada con el tiempo que debería tomar una negociación, lo que puede desencadenar grandes pérdidas de dinero y deficiencias en la ejecución de las actividades.

- **Paradigma holárquico:** este se basa en una organización de entidades dinámicas y distribuidas llamadas holones que son autónomas pero ven

restringidas sus decisiones por los objetivos que se plantean dentro de jerarquías temporales, en las cuales se establecen reglas de cooperación para los holones con las que se busca asegurar desempeños controlables y predecibles en búsqueda de la optimización de recursos y respuesta en el tiempo que exigen las empresas de manufactura [26].

Una característica particular de las unidades básicas, holones, es que pueden ser vistos como una parte y un todo. Los holones son todos auto-contenidos para sus partes subordinadas, y simultáneamente partes dependientes cuando son vistos desde niveles superiores. Por lo tanto, en los sistemas holónicos la jerarquía existe, pero como un sistema conformado por subsistemas que se encuentran acoplados pero que no pierden su autonomía local. [25]. De esta forma se puede decir que en el paradigma holárquico se aprovechan los beneficios de los dos paradigmas citados anteriormente, estos se unen para dar forma a sistemas capaces de responder a las necesidades actuales y futuras de las industrias del sector manufacturero.

En la actualidad el enfoque mayormente utilizado es el jerárquico, y considerando las características del mismo es necesario realizar un cambio en las empresas manufactureras, pues si bien gracias a este tipo de paradigma se puede tener una arquitectura simple y la posibilidad de optimización global, en términos del cumplimiento de los requisitos se queda corto ya que en estas arquitecturas se encuentran grandes falencias tales como la respuesta lenta cuando el sistema tiene un gran número de recursos, la dificultad para realizar cambios en el software de control, y la falta de tolerancia a fallos [15].

Es así como los sistemas de manufactura basados en entidades dinámicas y distribuidas han tomado gran importancia en la industria manufacturera, dentro de estos se pueden encontrar aquellos basados en Sistemas Multi Agentes que se apoyan en el paradigma heterárquico para su funcionamiento y los Sistemas Holónicos de Manufactura en los que se emplea el paradigma holárquico. Gracias a estos últimos es posible alcanzar un alto grado de satisfacción de los diferentes requerimientos que se encuentran asociados al incremento continuo de las exigencias de los clientes.

2.3 HOLON VS AGENTES

A pesar de existir similitudes entre las diferentes propiedades que caracterizan a los agentes y a los holones, es necesario aclarar que existen diferencias que permiten entender por qué razón, para satisfacer las exigencias actuales de los mercados, se prefiere emplear los holones que los agentes, y que por ende se pueden constituir en ventajas de los sistemas que emplean holones dentro de los procesos de la industria manufacturera. Estas se indican a continuación.

- Los agentes suelen ser empleados para representar componentes software, dentro de sus prioridades no se encuentra la integración de la parte lógica con los recursos físicos, es aquí donde los holones cobran gran importancia pues dentro de su concepción la anterior característica es básica; un holón puede contemplar un componente de recurso (equipos, talento humano, energía, etc.) y uno de toma de decisiones al mismo tiempo, dando así la trascendencia necesaria a la unión entre recursos y lógica.

En términos de integración humana, la interfaz humana se incorpora automáticamente en cada holón, mientras que en el enfoque de agentes, el humano está representado por un agente separado. Es decir, un holón presenta una parte física y una lógica por ende una persona podría ser representada sin necesidad de utilizar otro holón, contrario a lo que sucedería con los agentes, que implicarían el uso de por lo menos dos agentes.

- En términos de control en tiempo real, un agente no puede garantizar las restricciones de tiempo real, esto considerando que son entidades totalmente autónomas y como tal pueden emplear el tiempo que consideren necesario para dar una solución a determinada situación. Entre tanto los holones deben cumplir con restricciones de tiempo real que están asociadas a la formación de jerarquías temporales que buscan cumplir un objetivo a través de la optimización de los procesos para de esta forma lograr un funcionamiento confiable del sistema.
- Finalmente, teniendo en cuenta el principio de que un holón puede representar simultáneamente un todo y una parte del todo, el holón es capaz de estar compuesto por varios holones de nivel inferior. Se tiene una gran ventaja en la optimización del uso de los recursos como tiempo y software, puesto que de esta forma se logra que determinadas características de un holón puedan encontrarse en otro (autosimilaridad) sin necesidad de realizar nuevas configuraciones del mismo. Contrario a esto, un agente no tiene la capacidad de soportar dicha característica.
- Los holones son más cooperativos que los agentes [27], esto puede ser debido a que ellos son capaces de participar en diferentes holarquías con el fin de alcanzar objetivos específicos, además a pesar de ser autónomos ellos restringen dicha propiedad para lograr que dentro de las jerarquías temporales se alcancen las metas. Además los holones están siempre dispuestos a ser parte de una solución ante la presencia perturbaciones.

Teniendo en cuenta las diferencias entre los agentes y los holones y también el paradigma que es empleado para cada uno de ellos, heterárquico y holárquico respectivamente, se ha optado por trabajar con los sistemas holónicos de

manufactura. Gracias a las características de un enfoque holónico podemos encontrar cualidades y/o propiedades deseadas que permitan satisfacer en mayor medida las necesidades de la industria manufacturera y se considera que, siendo aún un concepto en desarrollo es el mejor candidato para cumplir los objetivos deseables de la industria.

2.4 SISTEMAS HOLÓNICOS DE MANUFACTURA

Los sistemas holónicos de manufactura (HMS) están formados por entidades distribuidas e inteligentes llamadas holones que son unidades de construcción autónoma y cooperativa de un sistema de manufactura para transformar, transportar y/o almacenar objetos de información y elementos físicos. Por lo tanto, el holón está compuesto de un componente de procesamiento de información, el cual puede ser un agente software, y muchas veces de una parte de procesamiento físico [26].

Atendiendo al origen de la palabra holón la cual proviene de “holos” que significa todo y el sufijo “on” que sugiere una partícula o parte [24], se puede entender que un holón es un todo y una parte, esto indica que un holón es autónomo e independiente en sí mismo, pero al mismo tiempo pertenece a una entidad mayor que también es vista como un holón, compuesto, y que se conoce como holarquía.

Como se había mencionado, los HMS hacen uso de los paradigmas heterárquico y jerárquico para lograr sus objetivos. En el primer caso dentro de las holarquías cada uno de los holones puede tomar sus propias decisiones de forma local, pero contrario a lo que sucede en los sistemas que sólo utilizan la heterarquía, dentro de los HMS estas se ven restringidas cuando se exceden los límites establecidos para el cumplimiento de un objetivo, es decir, si un holón desea llevar a cabo una acción debe “corroborar” que el logro de la misma no afecte el objetivo general de la holarquía, haciendo así uso del paradigma jerárquico.

Dentro de los HMS se conforman jerarquías temporales para lograr metas específicas, en estas se definen reglas de cooperación entre los holones que restringen sus decisiones autónomas para asegurar desempeños controlables y predecibles en búsqueda de la optimización de recursos y respuesta en el tiempo que exigen las empresas de manufactura [26]. Cabe aclarar que una vez cierta jerarquía cumple con su propósito esta se descompone para dar paso al establecimiento de nuevas jerarquías.

Propiedades de los Sistemas Holónicos de Manufactura

A continuación se mencionan algunas de las propiedades atribuidas a los HMS:

- **Autonomía:** esta le permite a los holones decidir las acciones necesarias que deben tomarse de tal forma que sus objetivos individuales se lleven a cabo, esto sin consultar ninguna entidad de supervisión [15]. Además el holón monitorea la ejecución de sus planes y toma correctivos en contra de su propio mal funcionamiento [26].
- **Reactividad:** Un holón reacciona ante los cambios e incertidumbres que impidan el cumplimiento de sus objetivos.
- **Proactividad:** El holón no solo responde a su entorno, sino que toma la iniciativa de cambios en su comportamiento dependiendo de sus objetivos.
- **Cooperación:** La cooperación es la característica que permite a los holones elaborar planes comunes y ejecutarlos mutuamente. También permite que los holones busquen ayuda en caso de un fallo en su funcionamiento que apareció después del inicio de la ejecución de los planes.
- **Re-organización:** El holón puede actuar en diferentes holarquías que son creadas y modificadas dinámicamente.
- **Habilidad social:** El holón tiene comportamiento interactivo para comunicarse, cooperar y negociar con otros holones y humanos, con el objetivo de lograr un trabajo colectivo en todos los niveles de la organización
- **Benevolencia:** Los holones cooperan cuando descubren un escenario de colaboración generado por la satisfacción de objetivos.

Gracias al paradigma holárquico, cuando se presentan incertidumbres o perturbaciones en el entorno los HMS son capaces de auto adaptarse, cooperar, negociar y formar nuevas jerarquías capaces de solucionar los inconvenientes, esto último es visto como una ventaja dentro de los HMS puesto que permite obtener sistemas más flexibles capaces de ajustarse a varias circunstancias sin ver afectado de manera significativa su desempeño.

Se puede definir un sistema holónico de manufactura como: una holarquía que integra toda la gama de actividades manufactureras que se llevan a cabo para cumplir de manera ágil una orden de producción a través del diseño, producción y marketing [15].

2.5 ARQUITECTURAS DE REFERENCIA PARA LOS HMS

Una arquitectura de referencia puede ser definida como un marco o un conjunto de normas y directrices para la gestión del desarrollo y funcionamiento de sistemas complejos [15], dentro de ella es posible considerar la estructura genérica del sistema de información que incluye, fundamentalmente, los tipos de componentes, las relaciones establecidas entre ellos y sus funciones [15].

A continuación, se describen algunas arquitecturas de referencia que se utilizan para trabajar con HMS, en ellas se especifican los tipos de holones, sus funcionalidades y la comunicación entre sus entidades.

2.5.1 Product-Resource-Order-Staff Architecture (PROSA) [18]

Como su nombre lo indica la arquitectura de referencia PROSA [18] está compuesta por cuatro tipos de holones, cada uno de ellos responsable de un aspecto en el control de la fabricación, ellos son:

Holón Recurso: El Holón Recurso (HR) es responsable de la representación a nivel de máquina y está compuesto por un componente físico (recurso de producción) y su componente de procesamiento de la información que controla el recurso. El HR tiene todos los métodos para asignar los recursos, así como el conocimiento y los procedimientos para organizar, utilizar y controlar estos recursos de producción; por lo tanto, un HR está en capacidad de manejar instalaciones de producción completas y puede conformar holarquías para determinar el mejor uso de los recursos en su objetivo de optimización de la producción.

Holón Orden: Corresponde a la unidad que contiene el conjunto de parámetros del producto según las especificaciones del cliente. El Holón Orden (HO) no realiza la programación (schedule) de la orden, ni asegura la asignación de los recursos, debido a que no es su función conocer la distribución física ni funcional de la planta. Dado que el HO representa una tarea del sistema de manufactura, él se encarga de asegurar que el trabajo sea realizado en los tiempos de respuesta esperados.

Holón Producto: Este holón es indispensable en la arquitectura PROSA debido a la dependencia del producto en la tecnología existente en la planta. El Holón Producto (HP) provee al HO una secuencia de recursos que deben ser utilizados para obtener el producto, manteniendo el conocimiento del proceso y de cada producto con el objetivo de asegurar su fabricación correcta. Por tanto, dado que el HO no tiene conocimiento de las características tecnológicas de la planta, el HO se comunica con el Holón Producto para obtener la información de cómo producir el producto, y dependiendo de su respuesta el HO ordena la ejecución del mismo.

Las nuevas especificaciones de productos se pueden agregar al sistema en cualquier momento adicionando nuevos Holones Producto.

Holón Staff: El Holón Staff es una unidad centralizada que se encarga de realizar la programación de la producción (Scheduling) en la planta. Por tanto, su principal función es presentar una visión global del sistema a los demás holones de la arquitectura con el objetivo de soportar las funciones que por naturaleza son centralizadas.

2.5.2 Arquitectura Holónica Adaptativa para el Control de Sistemas de Manufactura (ADACOR)[5]

Este tipo de arquitectura propone un enfoque holónico para introducir la adaptación del HMS ante fallas en el sistema de fabricación de manufactura, considerando que este se encuentra expuesto a constantes disturbios.

Además los diferentes holones representan cada componente de la fábrica. Estos pueden ser tanto recursos físicos (máquinas de control numérico, robots, controladores programables, etc.) como entidades lógicas (productos, órdenes, etc.).

Los 4 holones que se han considerado para ADACOR se mencionan a continuación:

Holón Producto: Contiene todo el conocimiento relacionado con el producto y es responsable del proceso de planificación de la producción; para ello tiene la información sobre la estructura del producto y el plan de procesos necesarios en su fabricación.

Holón Tarea: Representa cada orden de fabricación, siendo responsable del control y supervisión de la ejecución de la orden; por tanto contiene la descomposición de la orden, el plan de asignación de recursos y la ejecución de la orden.

Holón Operacional: Representa a los recursos de fabricación de la empresa, tales como operarios, controladores y dispositivos de campo. Por tanto, se encarga de gestionar el comportamiento de estos recursos de acuerdo con los objetivos, restricciones y capacidades, buscando su programación, uso y asignación óptima.

Holón Supervisor: Realiza las tareas de coordinación y optimización global de la holarquía, supervisando los holones operacionales y a los holones tarea que la conforman.

2.5.3 Unidad de Producción (UP) [28]

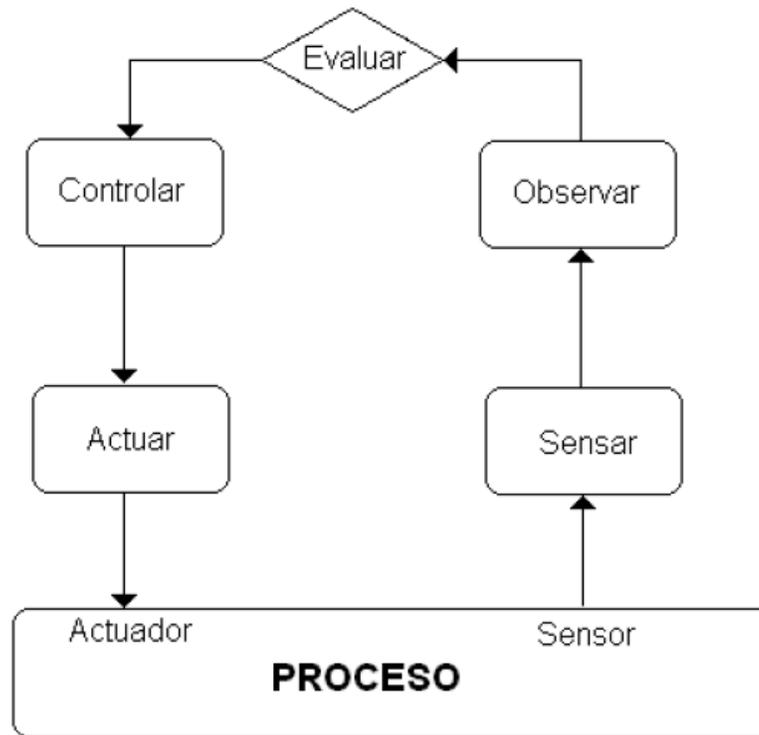
Unidad Holónica de Producción es una propuesta para alcanzar la construcción de sistemas de automatización integrados de control con base en una concepción Holónica de las Unidades de Producción (UP), mediante la cual la UP se concibe como la composición de un conjunto de unidades elementales o recursos que son organizados y configurados de tal manera que permitan realizar los procesos de transformación en la cadena de valor, con el objetivo de obtener los productos exigidos. La UP toma sus propias decisiones (autonomía) respecto al cumplimiento de su objetivo, pero está obligada a informar su estado en el cumplimiento de una meta o si ésta no se puede cumplir debido a una falla o errores en su comportamiento.

El enfoque de Unidad Holónica de Producción divide a la UP en 3 holones:

- **Holón misión:** En las dinámicas del holón misión se especifica el producto a ser completado, con sus calidades y cantidades
- **Holón recurso:** Los recursos que conforman el conjunto de instalaciones, equipos, personal especializado, servicios e insumos, necesarios para ejecutar un método de producción conforman el holón Recurso
- **Holón método:** El método de producción, está asociado al uso de los recursos y materiales con el fin de cumplir una misión propia de la actividad productiva de un sistema de manufactura

Además de lo anterior cabe resaltar que en cada uno de los niveles que hacen parte de una holarquía dentro de una UP se lleva a cabo un proceso cíclico y permanente de toma de decisiones que se denomina ciclo de toma de decisiones (DMC) y que se puede apreciar en la figura 4. El objetivo de este ciclo es asegurar el adecuado comportamiento de la Unidad de Producción, manteniendo una evaluación continua del proceso basada en la comparación entre su estado y las metas asignadas.

Figura 4. Ciclo de toma de decisiones de una UP



Fuente: Rojas A., Oscar Amaury. “Principios de un Modelo Dinámico para Integración de Empresas de Manufactura”

Las actividades indicadas en la anterior figura se describen a continuación: [26]

Sensar: Esta actividad corresponde a realizar la medida de las variables más significativas del proceso, las cuales se obtienen mediante sensores y/o detectores de eventos localizados en los procesos. El concepto de sensor y detector es ampliado ya que puede operar directamente con los procesos físicos (como es ampliamente conocido) o tomar las variables presentes en una base de datos o indicadores de gestión que contienen diferentes tipos de información.

Observar: Se encarga de generar información sobre los estados del proceso; por tanto, incluye las siguientes actividades: obtención de nuevas variables derivadas de las variables medidas y transformar variables significativas de los procesos en sus correspondientes variables de estado.

Evaluar: Involucra el análisis de la información del estado del proceso que entrega la actividad “Observar” y su comparación con los objetivos asignados al proceso. Normalmente, esta tarea se realiza en diferentes escenarios, indicando las fallas que podrían alejar al proceso de la meta asignada.

Controlar: Realiza la evaluación de los objetivos que deben ser cumplidos por el proceso, los cuales determinan la misión de cada una de las Unidades de Producción que conforman la holarquía. Esto se puede realizar evaluando diferentes escenarios para identificar la solución óptima, por ejemplo la selección de una de diferentes alternativas para el tratamiento de las fallas y/o la especificación de nuevas metas.

Actuar: Corresponde al paso final del DMC, donde las acciones encontradas se deben transformar en recomendaciones para las Unidades de Producción presentes en la holarquía. Estas recomendaciones son distribuidas en el tiempo como una sucesión de pasos para cada Unidad de Producción.

La Unidad de Producción está conformada por dos componentes: los elementos físicos, químicos o de información asociados al proceso de producción que se encargan de transformar las materias primas e insumos en productos o sub-productos, y la base de conocimiento de la Unidad de Producción que se denomina: *“decisión e información”*, la cual se encarga del control, supervisión y gestión de los procesos de acuerdo con las metas de producción, así como del intercambio de la información del estado de la Unidad de Producción a los demás componentes del sistema de manufactura.

Dentro de los elementos a ser representados mediante una unidad de producción están: elementos físicos, infraestructura, productos, configuración de la Unidad de Producción y objetos de información (misión: producto a ser obtenido, cantidad, calidad, estado de la unidad de producción: avance de la misión, estado de los recurso y estado del proceso).

2.6 SELECCIÓN DE LA ARQUITECTURA

Después de enunciar las 3 arquitecturas, que son las más conocidas y referenciadas para el trabajo con Sistemas Holónicos de Manufactura, se ha decidido trabajar con la Unidad de Producción, las razones se enuncian a continuación:

- Dentro de la UP existe una parte lógica y otra física, donde la parte física toma gran importancia pues la Unidad de Producción se basa en los conceptos establecidos en el estándar ISA 88 para los sistemas de producción. En todas las actividades de un sistema de manufactura existen diferentes recursos físicos como las máquinas y la información asociada a los procesos. Se requiere una asociación de los elementos físicos correspondientes a las actividades de producción que faciliten la integración entre componentes lógicos y físicos.

- Si bien cada una de las arquitecturas aprovecha las diferentes propiedades de los holones, dentro de la Unidad de Producción se presta especial atención al cumplimiento de las metas, es decir, dentro de ADACOR y PROSA se cuenta con el holón supervisor y el holón Staff respectivamente para desarrollar las tareas orientadas a la coordinación de las holarquías y por ende a asegurar el cumplimiento de los objetivos por parte de las mismas y de igual forma cada holón dentro de ellas puede adquirir conocimiento de su entorno y realiza reportes en caso de que sucede algo especial, pero para el caso de la UP es de vital importancia que exista un reporte continuo del estado actual en el cumplimiento de las metas y de cómo los holones se ven afectados por la presencia de cambios inesperados en el entorno.

Dentro de la UP no es necesario que haya una perturbación para que uno de sus holones la reporte, la adquisición de información por parte del coordinador de la UP se realiza de forma continua lo que mejora el tiempo que esta se tarda en conocer el comportamiento de sus procesos y sistemas.

Lo anterior permite un mayor control de las diferentes situaciones que se pueden presentar a lo largo del proceso que se esté ejecutando, entregando así ventajas competitivas para las empresas con respecto a la posibilidad de realizar un análisis, a través de la trazabilidad, de sus procesos, dado que podrá contar con información más clara y concisa.

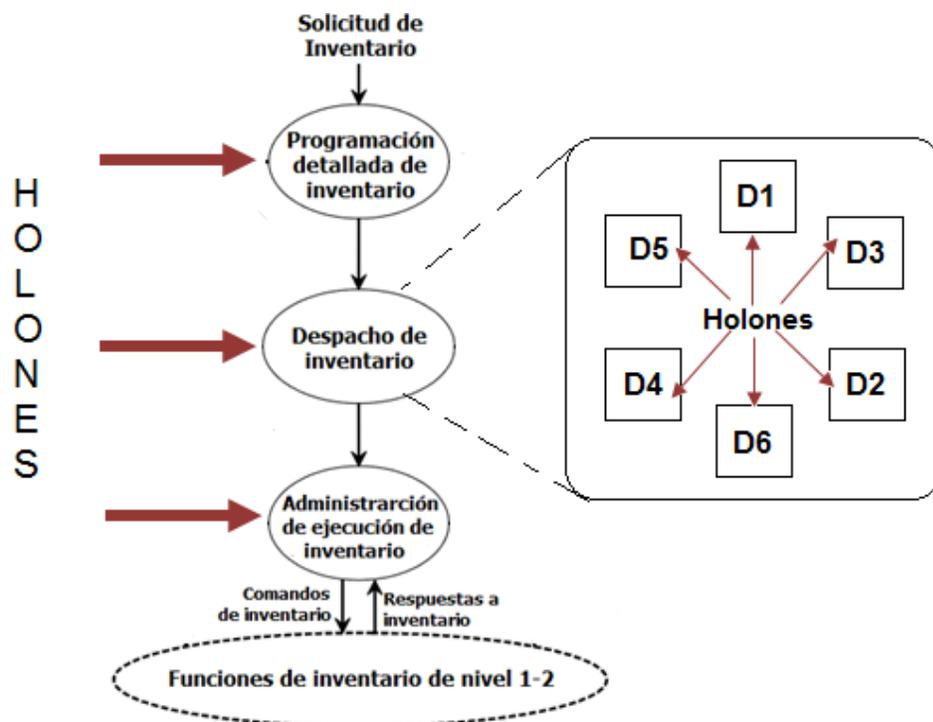
- En cuanto a la parte lógica o el proceso mediante el cual los holones adquieren información y con base en ella toman decisiones, dentro de las arquitecturas PROSA y ADACOR este procedimiento se lleva a cabo de forma arbitraria, de esta forma el ciclo de toma de decisiones que se desarrolla dentro de la Unidad de Producción marca una gran diferencia con las otras arquitecturas pues gracias a él se mantiene una evaluación continua del proceso basada en la comparación de su estado y el cumplimiento de las metas asignadas, además este proceso se hace de forma “estructurada” lo que puede brindar mayor claridad, coherencia y exactitud en la adquisición de información y en la toma de decisiones.

3. INVENTARIO HOLÓNICO

Las funciones de Inventario seleccionadas en el capítulo 1 se basan en los modelos jerárquicos del estándar ISA 95. En el presente capítulo se propone romper dicha jerarquía y plantear las funciones desde el paradigma de los sistemas holónicos de manufactura (HMS) para obtener un sistema de entidades autónomas y colaborativas que trabajen en función del cumplimiento de objetivos particulares establecidos dentro de jerarquías temporales y lograr así un mejor desempeño del sistema y una fabricación inteligente e integrada.

Cada una de las funciones se define como un holón, que a su vez contiene diferentes holones que corresponden a las sub-funciones, como se muestra en la figura 5. Además los holones que representan las diferentes funciones y sub-funciones de inventario pueden unirse para dar forma a las holarquías, encargadas de satisfacer las distintas necesidades de una empresa.

Figura 5. Representación de funciones y sub-funciones como holones.

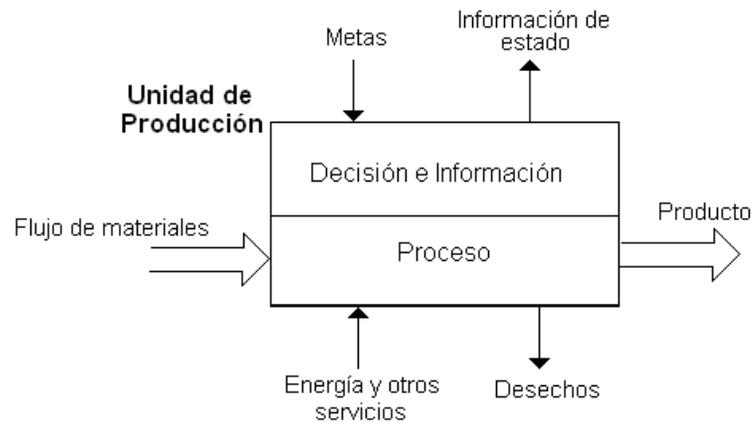


Fuente: propia, octubre 2012.

Para lograr manejar una estructura genérica en el desarrollo de las actividades dentro de las holarquías, se ha decidido trabajar con la arquitectura de referencia de la Unidad de Producción, si bien esta ha sido concebida con un enfoque hacia el área de producción puede ser extendida a las actividades de inventario pues su estructura es semejante, es decir, la configuración básica de la UP (figura 6)

puede ser empleada en las diferentes áreas de la organización, de esta forma se definió que es posible trabajar con una Unidad de Inventario (UI) donde dicha unidad corresponde a una UP dedicada a las diferentes actividades de Inventario. Por ende las metas, los flujos, los desechos y la salida de la misma contarán con la misma configuración de la UP pero en el caso de la UI la entrada puede ser un flujo de información o materiales y la salida que se obtendrá al terminar el proceso será una respuesta a la solicitud de inventario, que puede ser un rechazo de la misma o el cumplimiento de ella.

Figura 6. Representación de la Unidad de Producción.



Fuente: Principios de un Modelo Dinámico para Integración de Empresas de Manufactura; Oscar Amaury Rojas A.

Al igual que la UP, la Unidad de Inventario es autónoma y tiene la capacidad de modificar el programa de inventario de forma dinámica, reconfigurar los recursos de inventario rápidamente, participar activamente en diferentes procesos como el cumplimiento del programa de producción, los procedimientos de calidad o proceso de envío de productos, entre otros. La unidad de inventario informa su estado de manera que se da a conocer el grado de cumplimiento de sus metas o los diferentes problemas que se pueden presentar que impidan su correcto funcionamiento.

Dentro de una empresa existen múltiples departamentos o componentes que cumplen distintas funcionalidades. En la norma ISA 95 se destacan en MES cuatro dominios principales: Producción, Calidad, Inventario y Mantenimiento. Cada uno de ellos maneja inventarios al igual que el área administrativa y el piso planta. En consecuencia, existen diferentes unidades de inventario dentro de una organización; es claro que el inventario no es centralizado ni concentrado en un área específica.

En los sistemas HMS, la visión general y la gestión de todas las Unidades de Inventario resulta ser muy eficiente ya que todas tienen el mismo comportamiento

y la autonomía que permite llevar a cabo sus propios planes en el momento adecuado y de forma ágil. Por ejemplo en Mantenimiento es necesario tener un control sobre la cantidad de materiales disponibles para hacer mantenimiento, la correcta disposición de los mismos, la ubicación de equipos, el transporte de los diferentes materiales empleados en cierta actividad de mantenimiento, etc. y para ello no es necesario desarrollar nuevas actividades, basta con aprovechar la autosimilaridad para permitir que las características de los diferentes holones pertenecientes a Inventario sean trasladadas a aquellos que serán utilizados en Mantenimiento. Esto también se puede apreciar en el área de Calidad y en todas aquellas que requieren el manejo, control y disposición de materiales, equipos y demás.

Modelo Siemens FIET bajo el enfoque holónico.

Debido al enfoque holónico, el modelo Siemens FIET es aplicable a la empresa en general y a su vez cada UI al ser una Unidad de Producción tiene inmerso un comportamiento que cumple los objetivos de dicho modelo. Dentro de cada función de Inventario desde el enfoque holónico se pueden realizar actividades internas correspondientes a los diferentes ámbitos CIM dando como resultado un comportamiento que refleja la característica de autosimilaridad. Se puede hacer una analogía tomando como referencia el cuerpo humano que cumple funciones como alimentación, reproducción, respiración; así mismo las diferentes células que lo componen realizan a su manera estas diferentes actividades.

Cada holón está especializado en cumplir su misión y realiza sus propios métodos; pero a la vez es capaz de trabajar coordinada y cooperativamente con otros holones. Por esta razón la "línea" divisoria entre los diferentes ámbitos del modelo CIM Siemens, que se encuentra relacionada con una jerarquía, pierde dicha característica cuando es necesario. Esto permite la disminución de las restricciones en las relaciones de las entidades que los componen y otorga a un holón la capacidad de pertenecer a diferentes ámbitos de forma simultánea, logrando el cumplimiento de sus objetivos y de igual forma el de la holarquía que integra.

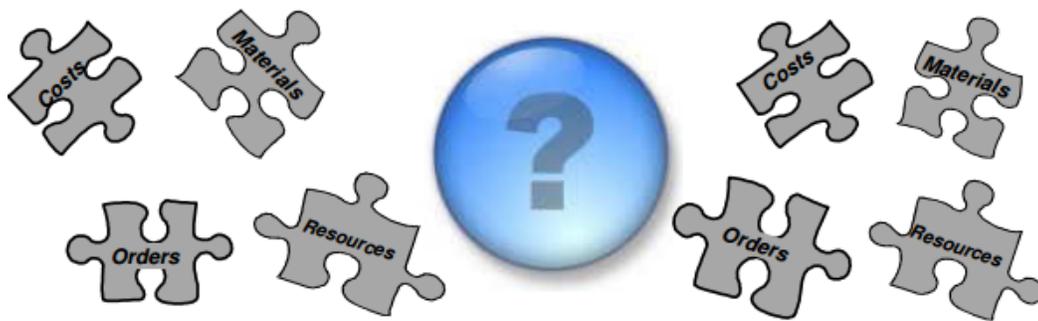
Manejo de Información

El manejo de información del sistema se establece a través de un sistema de almacenamiento de información distribuido (repositorio) donde se recopila, deposita, almacena y mantiene la información como las bases de datos o documentos en los que se registran los diferentes datos relacionados con el estado de actividades, de recursos, etc. Estos datos son distribuidos a través de una red que permite el acceso a la información. Las diferentes fuentes de datos pueden ser leídas o escritas dependiendo de las necesidades; así los holones se

convierten en productores (cuando escriben la información) o consumidores (cuando acceden a leer la información). Este modelo de comunicación es eficiente y permite obtener mejores canales de emisión y recepción rompiendo la jerarquía y además, tiene alta correspondencia con el concepto de *Enterprise Manufacturing Intelligence* (EMI) [29].

EMI es un concepto aplicado en el software que nació a principios de siglo (2001) y actualmente es muy aceptado en la industria manufacturera. Independientemente de la solución de automatización empleada en la organización, es deseable obtener un sistema que concentre la información de múltiples fuentes y pueda ser utilizada para la presentación de informes, análisis, resúmenes visuales, y pasar datos entre todos los niveles de la empresa. En un sistema EMI los datos se encuentran combinados y pueden ser empleados para diferentes propósitos en las distintas partes que componen una organización. Lo más importante es el beneficio de obtener información rápida, segura y confiable en el momento preciso y de forma eficiente.

Figura 7. Cómo solucionar el problema de islas de información



Fuente: www.automation.siemens.com , octubre 2012

El concepto EMI puede apreciarse en la figura 7, este permite que las piezas del rompecabezas de información encajen para que sean usables y ayuden a los usuarios en múltiples propósitos. Teniendo en cuenta las características de EMI la propuesta de utilizar un enfoque holónico para el modelado empresarial resulta adecuada tanto en empresas que ya cuentan con una solución que incluya el concepto EMI así como en empresas que deseen implementarlo en un futuro. De esta manera el modelado empresarial holárquico puede contribuir o facilitar la implementación del concepto Enterprise Manufacturing Intelligence y al mismo tiempo permitir que las organizaciones ejecuten sus actividades de la mano de nuevas tecnologías de información que están a la vanguardia dentro del sector manufacturero.

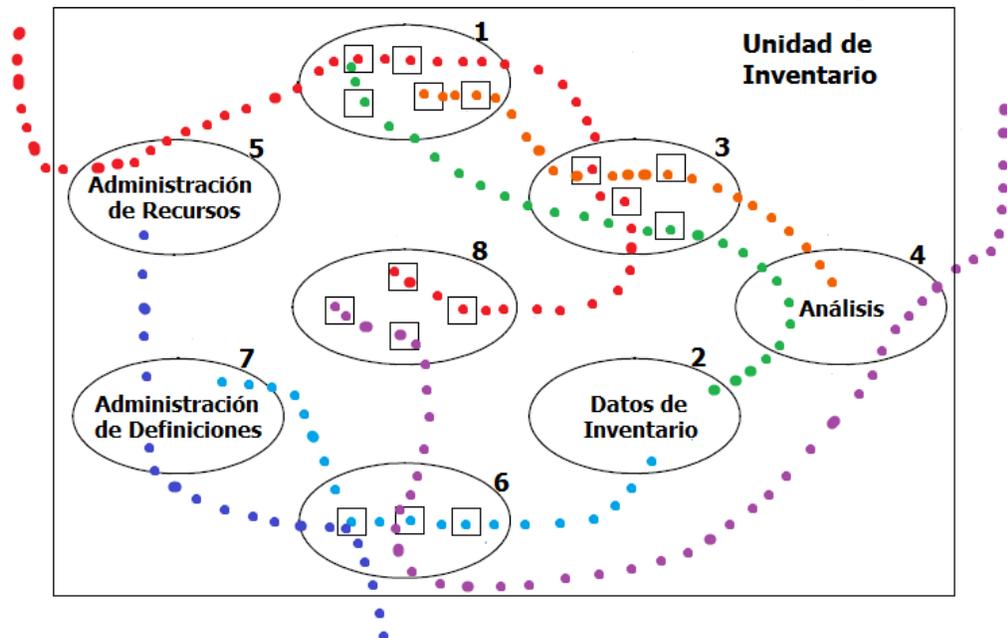
3.1 HOLARQUIAS DE INVENTARIO

Una holarquía es un conjunto de holones que trabajan bajo una jerarquía temporal en busca del cumplimiento de un objetivo. Dicha jerarquía termina una vez alcanzado el objetivo para el cual fue creada. Las holarquías varían dinámicamente con las necesidades y/o evolución del proceso de producción. Esta condición se puede dar inclusive una vez definido el dominio de operación y con el proceso activo (en línea) [30].

Se puede considerar que una holarquía de inventario es un conjunto de subfunciones de diferentes funciones (*Despacho, Administración de Recursos de Inventario, Ejecución de Inventario, Control de Materiales y Energía, etc.*) que cooperan para lograr una meta. El objetivo global de la Unidad de Inventario se logra bajo la cooperación de las diferentes holarquías que lo componen. De igual manera la Unidad de Inventario puede participar en otras holarquías en diferentes áreas de la empresa.

A su vez cada función en sí puede ser vista como una holarquía cuando se consideran internamente las diferentes actividades que se realizan, ya que dentro de ellas se deben realizar un conjunto de tareas que tienen un comportamiento holónico. Cada holarquía tiene asociados los recursos que permiten el cumplimiento de sus objetivos. Esta es una diferencia importante respecto a los SMA ya que siempre encontraremos holones asociados a recursos.

Figura 8. Holarquías de Inventario.



Fuente: propia, octubre 2012.

En la figura 8, los óvalos corresponden a funciones de inventario las cuales son holones, los cuadrados representan sub-funciones que también son holones y las diferentes líneas punteadas son holarquías, una para cada color. La numeración no tiene ninguna relación específica con la realización de actividades y tampoco indica ningún rango o jerarquía dentro del sistema.

Existen casos en los que un recurso puede ser compartido simultáneamente en dos holarquías; esto dependería de la capacidad de dicho recurso. Solo es posible que un recurso participe simultáneamente de dos holarquías si está en capacidad de desarrollar sus objetivos sin afectar el cumplimiento de las metas de cada una de ellas.

Como se tiene una “negociación restringida” al centralizar la decisión de asignación de recursos en las holarquías, el coordinador de cada holarquía tendrá la estrategia de asignación dependiendo de los KPIs (indicadores claves de desempeño), la información de los estados de los recursos y algunos parámetros puntuales correspondientes a su decisión.

En HMS los recursos son compartidos, porque ellos tienen la opción de ser asociados a una holarquía dependiendo de la meta a cumplir. Pero solo podemos hablar de simultaneidad de uso de los recursos, si ellos pertenecen al mismo tiempo a varias holarquías. En la figura 8 se observa como una función puede participar en diferentes holarquías; por ejemplo, en el ovalo 4, la función *Análisis* participa en las holarquías de color verde, naranja y lila.

Las sub-funciones también pueden participar en varias holarquías. Esto se aprecia en el ovalo 1, donde una sub-función actúa en las holarquías roja y naranja. También se puede ver en el óvalo 6, donde las holarquías azul claro y azul oscuro comparten la misma sub-función.

El hecho de que un holón pueda participar en diferentes holarquías brinda gran dinámica en el sistema y rompe una visión de jerarquía total; por otra parte no se pierde autonomía ya que el holón no depende de la holarquía para cumplir sus metas.

Los diferentes holones de la UI pueden colaborar con otros holones de las otras Unidades de Producción y así se crean holarquías cooperativas entre todas las partes que componen la organización. Esto se puede ver con las holarquías de color rojo, lila y azul donde el desarrollo de sus actividades no se limita solo a la UI sino que existe una participación en el cumplimiento de otras metas que incluyen funciones y actividades que se llevan a cabo dentro de la UI.

Considerando las características de un enfoque holárquico se han definido algunas holarquías para inventario las cuales se presentan a continuación:

3.1.1 Proceso de surtido de Inventario

Este proceso comprende todas aquellas actividades que se realizan para determinar las compras que son necesarias para reabastecer el inventario. En esto es fundamental contar con todos los elementos necesarios (estadísticas, pedidos, existencias, rotación) de tal forma que permitan al gerente o a la persona responsable del área de inventario, tomar las decisiones acertadas en el momento de realizar el requerimiento de surtido a los proveedores [31].

El proceso de reabastecimiento es de vital importancia, ya que de él depende conocer con mayor exactitud lo que se debe solicitar a los proveedores para poder satisfacer la demanda de los clientes. Si esto se hace de forma correcta se tienen los recursos necesarios para llevar a cabo la actividad económica de la empresa. También se evita que la empresa corra el riesgo de quedarse sin existencias de algún material, lo que implica pérdidas y/o retrasos en la producción y afecta el rendimiento de la organización [31].

3.1.2 Control de cantidad de inventarios (Control de stock)

Otro aspecto importante dentro del área de inventario, es el control de inventario, el cual implica llevar un registro detallado de las transacciones e información de los productos. Incluye las actividades necesarias para calcular y mantener un nivel adecuado de existencias de inventarios [31].

Un nivel inadecuado de existencias del inventario causa una baja rotación y llega a ser un factor para no obtener el rendimiento esperado [31]. La actividad de control de existencias incluye varias actividades de gran importancia como:

- Mantener un stock siempre disponible, ya que la producción y las ventas pocas veces están sincronizadas.
- Realizar un control sobre el número de productos almacenados como consecuencia de la disminución en ventas.
- Mantener una cantidad de inventarios disponible para evitar esperas o retrasos en las entregas a los clientes.
- Determinar el nivel apropiado de inventario (sin incurrir en faltantes) en términos de los beneficios que se esperan y el costo de mantenimiento del inventario que se requiere.

- El control de stock tiene relación con las actividades de resurtido, pues es necesario reabastecer oportunamente para mantener las cantidades adecuadas de inventario.
- Calcular el nivel real de inventario, para ello se debe tener en cuenta, el inventario funcional (el que cubre las salidas propias del proceso) un inventario de seguridad (que va a permitir hacer frente a cualquier eventualidad) así como un inventario de anticipación, que es el que permite cubrir las expectativas de crecimiento futuras [31].
- Realizar revisiones físicas, estas se hacen para verificar que las unidades que se indican en el sistema para cada uno de los inventarios (materiales y/o productos), correspondan a lo que está físicamente en la bodega. Esto se realiza para determinar pérdidas de ítems dentro del inventario y para verificar el estado (buen funcionamiento) de los mismos o bien detectar desapariciones o deterioros de las existencias dentro de la bodega [31].

3.1.3 Clasificación del Inventario

Segmentación del inventario que se realiza a través de agrupar los distintos ítems o artículos dentro del inventario que lo integran, basado en características físicas, características de funcionalidad o comportamiento de cada uno de ellos [31].

Tener una clasificación adecuada permite simplificar el manejo de los inventarios, agiliza los procesos dentro de almacén y facilita el control de las transferencias o movimientos de material y productos terminados. Esta clasificación permite que la disposición dentro de almacén sea más ordenada y se puedan controlar las condiciones de almacenamiento adecuadas para los diferentes materiales, equipos o productos terminados.

Un ejemplo claro es la industria de alimentos, donde es importante tener bien clasificados los materiales y separar los productos terminados de otros elementos que puedan alterar sus características. Un caso común es el cambio de sabor que puede presentar el alimento empacado cuando se encuentra cerca de productos olorosos como los artículos de aseo o materias primas o insumos químicos.

Se pueden clasificar los inventarios bajo diferentes criterios dependiendo de las necesidades y características de cada empresa. Una clasificación que aplica en la mayoría de las empresas manufactureras es:

- Entradas: materias primas, insumos y materiales.
- En proceso: productos intermedios y herramientas o materiales en centros de trabajo.

- Salidas: productos terminados y desechos.

3.1.4 Control de Inventario

Un factor de suma importancia en el cumplimiento de las metas globales de la UI es el adecuado desarrollo de las actividades de inventario, estas deben ser monitoreadas y controladas. Es necesario aclarar que si bien dentro de cada una de las holarquías que se conforman dentro de la UI existen supervisores y coordinadores encargados de velar por el cumplimiento de las metas, el desarrollo total de las actividades orientadas a inventario es mucho más complejo, en estas se pueden presentar problemas muy complicados que sobrepasan las capacidades de solución que puede brindar un holón o incluso una holarquía y por ende es ideal que exista una asociación de holones que garantice que la meta principal de la UI se cumple a cabalidad.

Entre las responsabilidades que esta holarquía abarca se encuentran:

- Asegurar que las actividades se realizaron con calidad.
- Asegurar que el equipo empleado es el indicado para cada actividad.
- Controlar la capacidad real frente a la capacidad esperada de inventario, aplicable a capacidad de almacenar, de transportar, de recepción y las diferentes actividades que pueden estar inmersas en el área de inventario y que necesiten de tal control.
- Asegurar que dentro del almacén las diferentes materias primas y productos terminados han sido dispuestos de forma ordenada y se encuentran ubicados en equipos, estantes, cajas, etc. apropiadamente.
- Velar porque las materias primas estén disponibles en tiempos y lugares indicados y además que estas se encuentren en condiciones adecuadas (fechas de vencimiento, olor, color, etc.).
- Personal calificado.

El control de las diferentes actividades permite a la empresa manufacturera realizar comparaciones relacionadas con los KPIs (indicadores de desempeño) y de esta forma identificar las falencias y áreas en las que se hace necesario tomar acciones que permitan disminuir o eliminar fallas.

Para dar cumplimiento a las responsabilidades antes mencionadas, toma gran importancia el modelo de comunicación establecido dentro de las holarquías pues los holones pertenecientes al control de inventario deberán tomar todo tipo de información relacionada con la UI y para tal fin esta tendrá que estar disponible en todo momento.

En esta holarquía es importante la información vinculada al estado de los recursos de inventario, capacitación de personal, recepción de materias primas, productos

intermedios y productos terminados, de los equipos de almacenamiento y transporte, ubicación de materiales, etc. A medida que la información es recolectada, los holones la analizan y determinan si se está dando cumplimiento a las metas establecidas, de ser así se continúa con la toma de información a lo largo de todas las actividades. En caso contrario, se debe determinar si dentro de la misma holarquía es posible solucionar los inconvenientes que se presentan, pues estos pueden tener una solución inmediata o sencilla, o si es necesario delegar dicha responsabilidad a otra holarquía o inclusive a otra UP, dado el caso en que los problemas necesiten un mayor grado de análisis o involucren actividades que estén fuera del alcance de la UI.

Con lo anterior se aprecia que dentro de esta holarquía se lleva a cabo un proceso que es característico de los sistemas de control y que le permite a los mismos desempeñarse correctamente, este consiste en realizar tres acciones: sensar, controlar y actuar.

En el control de inventario se logra evidenciar la relación que puede existir entre diferentes UP de una empresa y por lo tanto se aprecia la relación de cooperación que podría llevarse a cabo cuando se hace necesaria una negociación que lleve a la solución de un problema y por ende al cumplimiento de un objetivo.

3.1.5 Programa de producción

La base para el funcionamiento de cualquier empresa manufacturera es la fabricación de un producto y para lograr obtenerlo es necesaria la unión de cada una de las áreas que pertenecen a ella lo cual implica el manejo abundante de información y recursos. Así es imprescindible que cada una de las UP que conforman tales organizaciones funcione adecuadamente, de esta forma la coordinación de las mismas será armónica y permitirá alcanzar resultados favorables.

En esta holarquía se evidencia la cooperación que se presenta entre las diferentes Unidades de Producción presentes en una empresa, dejando a un lado las jerarquías permanentes de los sistemas tradicionales pues en este caso, como se ha mencionado anteriormente, las diferentes funciones y sub-funciones definidas para las actividades de manufactura (producción, calidad, mantenimiento e inventario) son empleadas según las necesidades o requerimientos establecidos para la elaboración de un producto, permitiendo el uso simultáneo de las mismas y además brindando el acceso continuo a la información de estado de cada holón.

Para dar cumplimiento al programa de producción se deben seguir una serie de pasos que inician con la solicitud de un producto que puede ser ya existente o que deba ser diseñado, las definiciones que se realizan se envían hacia programación detallada de producción al igual que a despacho para dar conocimiento de cómo

se desea elaborar el producto, además se envía la ruta detallada y las reglas de producción, no solo a las áreas antes mencionadas sino también a los niveles 1 y 2. Una vez definido lo anterior se debe establecer cuál será la distribución y asignación de los recursos a los diferentes centros de trabajo, para lo cual se necesita interacción con inventario pues se debe adquirir información sobre disponibilidad de materiales, equipos y energía, se determina la capacidad de recursos y la disponibilidad de los mismos (administración de recursos de inventario), toda la información es recolectada y enviada o recibida por despacho, nivel 1 y 2 y programación detallada de producción.

A continuación se crea el programa detallado de producción que recibe, recolecta y analiza la información disponible y necesaria para la generación del mismo, de esta forma se puede realizar el envío correspondiente a despacho de producción. Una vez allí se realiza la relación de cada una de las actividades con los respectivos recursos y se crea la lista de despacho que es enviada a la administración de ejecución de inventario que con dicha información y también con las reglas y la ruta detallada de producción empieza a dar cumplimiento a las actividades planteadas para lograr la elaboración de cierto producto. En este punto se envía información específica a los niveles 1 y 2 para dar inicio a la producción y se indica de igual forma las diferentes fases y procesos que se deben llevar a cabo para alcanzar la meta deseada.

De esta forma, a medida que se ejecuta el plan de producción se recolectan datos relacionados con los eventos de producción, los recursos, los productos, alarmas, acciones, etc.

Siempre hay recepción y envío de todo tipo de información que permite realizar análisis y contrastar los datos reales de los procesos o los estados de los recursos, de igual forma a medida que cada uno de los procesos relacionados directamente con el área de producción se ejecutan, deben desarrollarse procesos orientados al control de calidad tanto de las materias primas e insumos que son empleados para la fabricación de partes o productos como de los bienes que finalmente serán entregados a los clientes. Asimismo se debe tener presente la relación existente entre el área de producción y mantenimiento pues es necesario llevar a cabo una coordinación entre cada una de ellas con el fin de garantizar que los equipos o herramientas empleadas en el proceso productivo se encuentren en perfecto estado.

Así la holarquía del programa de producción logra abarcar las diferentes operaciones de manufactura que son contempladas dentro del estándar ISA 95 pero resaltando la ruptura de las jerarquías permanentes, esto se puede cotejar en las holarquías que se conforman para dar cumplimiento al objetivo de producción.

Por ejemplo para dar inicio al proceso de producción, es necesario que los diferentes recursos que serán empleados en tal actividad estén disponibles en

cada puesto de trabajo y para ello los holones encargados de realizar y coordinar el transporte de materiales, equipos y herramientas deben coordinarse para satisfacer el objetivo global, al mismo tiempo que desempeñan sus labores dentro de la UI para asegurar el cumplimiento de sus metas locales.

Además de la relación antes mencionada existen otras en las que se resalta la participación de un holón en diferentes holarquías y que se citan a continuación:

- Embalaje. Esta actividad tiene funciones pertenecientes a producción (cuando el producto es empacado en envolturas, botellas, etc.) y al mismo tiempo a inventario (determinar programa de embalaje y generar el embalaje del producto final).
- Disponibilidad de almacenamiento. Al mismo tiempo que se determina la disponibilidad de los diferentes recursos, se establece si al aceptar la orden de producción habrá capacidad de almacenar materias primas o insumos que deban ser adquiridos, además se determina si una vez concluida la producción será posible ubicar los productos terminados en las áreas correspondientes.
- Controlar existencias. Esta refleja la propiedad de autosimilaridad, pues el control que se lleva a cabo dentro de inventario se puede trasladar de forma similar a cada puesto de trabajo para establecer niveles de productos intermedios o terminados y de esta forma evitar inconvenientes como cuellos de botella.
- Reservar materiales para producción dentro del área de inventario.
- Activar inventario.
- Requerimientos de materia prima.
- Establecer el plan de materiales.

3.1.6 Plan detallado de inventario

La ejecución del plan detallado de inventario tiene una secuencia similar a la indicada anteriormente para el programa de producción, pero en este caso quien daría inicio a los procesos dentro del área de inventario sería una solicitud de inventario y lo que se obtendría sería una respuesta de inventario. Para esto se utilizan las diferentes funciones y sub funciones que fueron definidas en el capítulo anterior.

Dentro de esta holarquía se debe establecer si es posible satisfacer la solicitud de inventario, que se necesitaría (materiales, equipos, energía, recurso humano, etc.) para lograrla, existen suficientes materiales o insumos para cumplir la solicitud o si por el contrario es necesario gestionarlos, cuál sería la asignación adecuada de los recursos según las actividades que se deban desarrollar, etc.

Así se aprecia como diferentes partes dentro de la UI podrán hacer parte de esta holarquía. Para conocer más a fondo cada una de las actividades mencionadas anteriormente remitirse al **Anexo D** donde se encuentra definido el comportamiento dinámico de esta holarquía.

4. MODELADO DE INVENTARIO: ESTRUCTURAL

Los modelos permiten comprender un sistema de forma clara y rápida y ayudan a representar todos sus aspectos y relaciones dinámicas y estáticas, facilitando el análisis, la toma de decisiones, el diseño, la resolución de problemas y la visualización.

En el modelado de procesos se contemplan cuatro aspectos: funcional, desempeño, organizacional e informativo (Curtis, Kellner y Over, 1992). En el aspecto funcional se consideran las actividades del proceso que están siendo ejecutadas y los flujos de entidades (documentos) más relevantes. En el aspecto de comportamiento o desempeño se presta atención al tiempo en que se realizan las actividades, así como al modo en que se efectúan (condiciones, secuencia e iteraciones). La vista organizacional del proceso se enfoca en el lugar físico, dentro de la organización donde se realizan las actividades y en la persona que tiene la responsabilidad de efectuarlas. Por último, el aspecto informativo aborda el aporte de los documentos en la coordinación y comunicación entre las funciones [32].

En este capítulo se desarrolla el modelado estructural de las operaciones de Inventario. Primero, se presentan los diagramas de clases realizados en UML y luego, se incluyen los diagramas realizados en IDEF0.

4.1. MODELADO ESTRUCTURAL EN UML

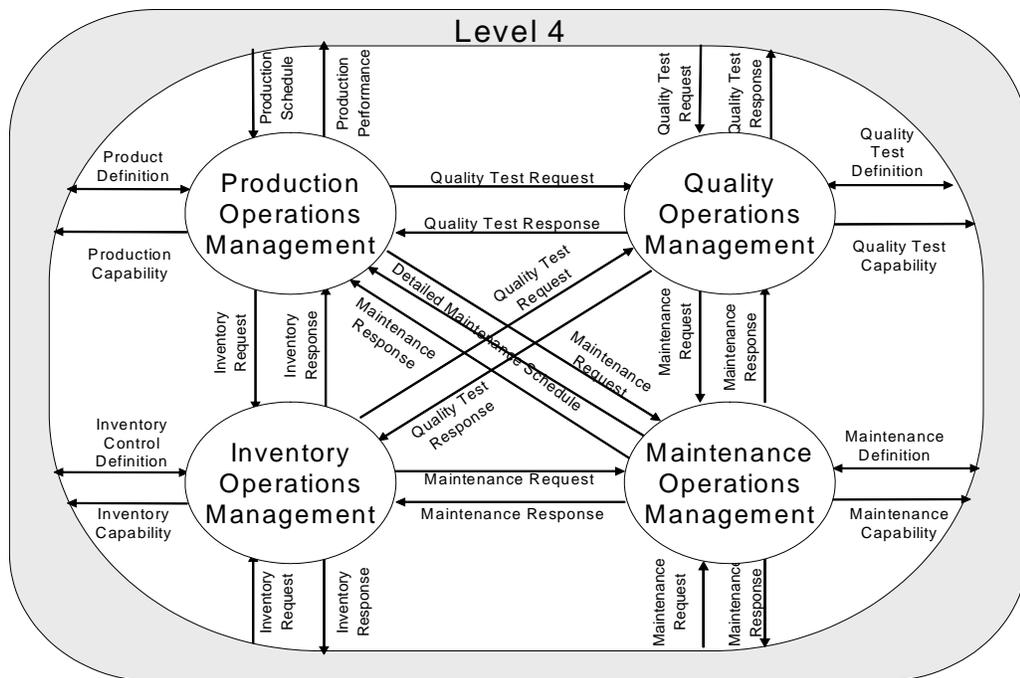
El modelado estructural permite describir los componentes de un sistema y las relaciones estáticas entre ellos. Existen diferentes metodologías y herramientas para el desarrollo de modelos estructurales, una de ellas es UML (lenguaje unificado de modelado) con la cual se pueden modelar aspectos conceptuales tales como procesos de negocio, funciones del sistema, esquemas de bases de datos, etc.

El UML soporta un conjunto rico en elementos de notación gráfica. Describe la notación para clases, componentes, nodos, actividades, flujos de trabajo, casos de uso, objetos, estados y cómo modelar la relación entre esos elementos [33]. Esta herramienta provee beneficios significativos para los ingenieros y las organizaciones al ayudarles a construir modelos rigurosos, trazables y mantenibles, que soporten el ciclo de vida de desarrollo de software completo [33].

Para complementar la definición del modelado estructural a partir de UML se han considerado nuevos apartes del estándar ISA 95, dado que estos brindan mayor profundidad en la definición del desarrollo de las actividades de administración de operaciones de inventario.

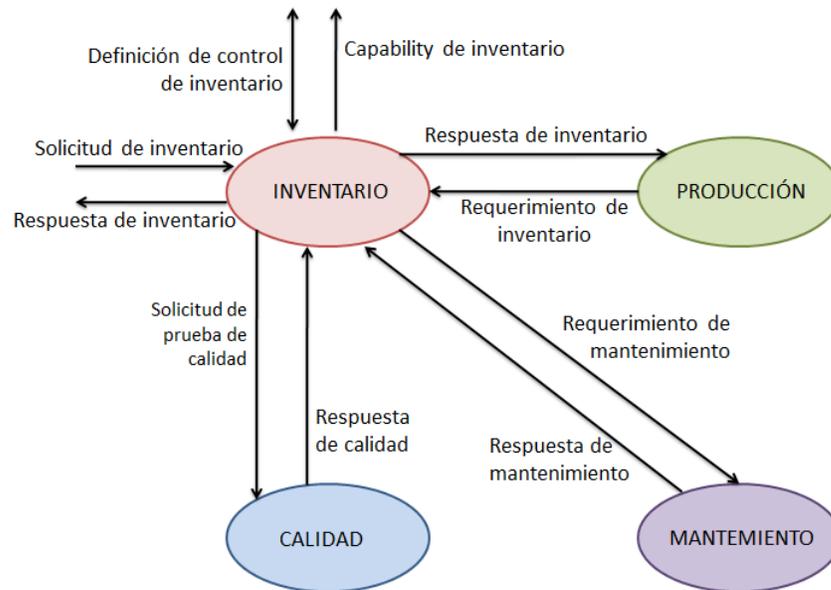
En la parte 4 del estándar ISA 95, que aún no está terminada, se encuentra la figura 9 que ilustra parte de la información intercambiada entre las actividades de manufactura del nivel tres. Se muestran los principales flujos de información, de forma general, que permiten identificar como producción, mantenimiento, calidad e inventario se relacionan entre sí. De esta figura se tomaron únicamente las relaciones de inventario y se organizaron aisladamente en la figura 10 para mayor claridad. Posteriormente se realizó el diagrama de secuencias (figura 11) correspondiente en el cual se observa la interacción entre inventario y los diferentes componentes (departamentos) de las operaciones de manufactura.

Figura 9. Ejemplo de intercambio de información entre los componentes MES



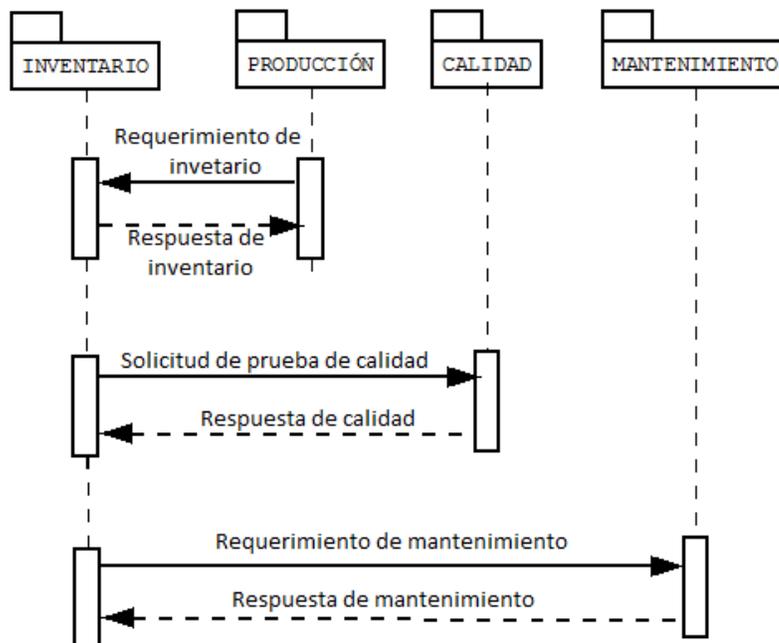
Fuente: ANSI/ISAA-95.04 Object Models & Attributes. Part 4 of ISA-95: "Object models and attributes for Manufacturing Operations Management"

Figura 10. Principales interacciones entre los 4 componentes de operaciones de manufactura



Fuente. Propia, noviembre de 2012.

Figura 11. Diagrama de secuencia de operaciones de manufactura



Fuente. Propia, noviembre de 2012

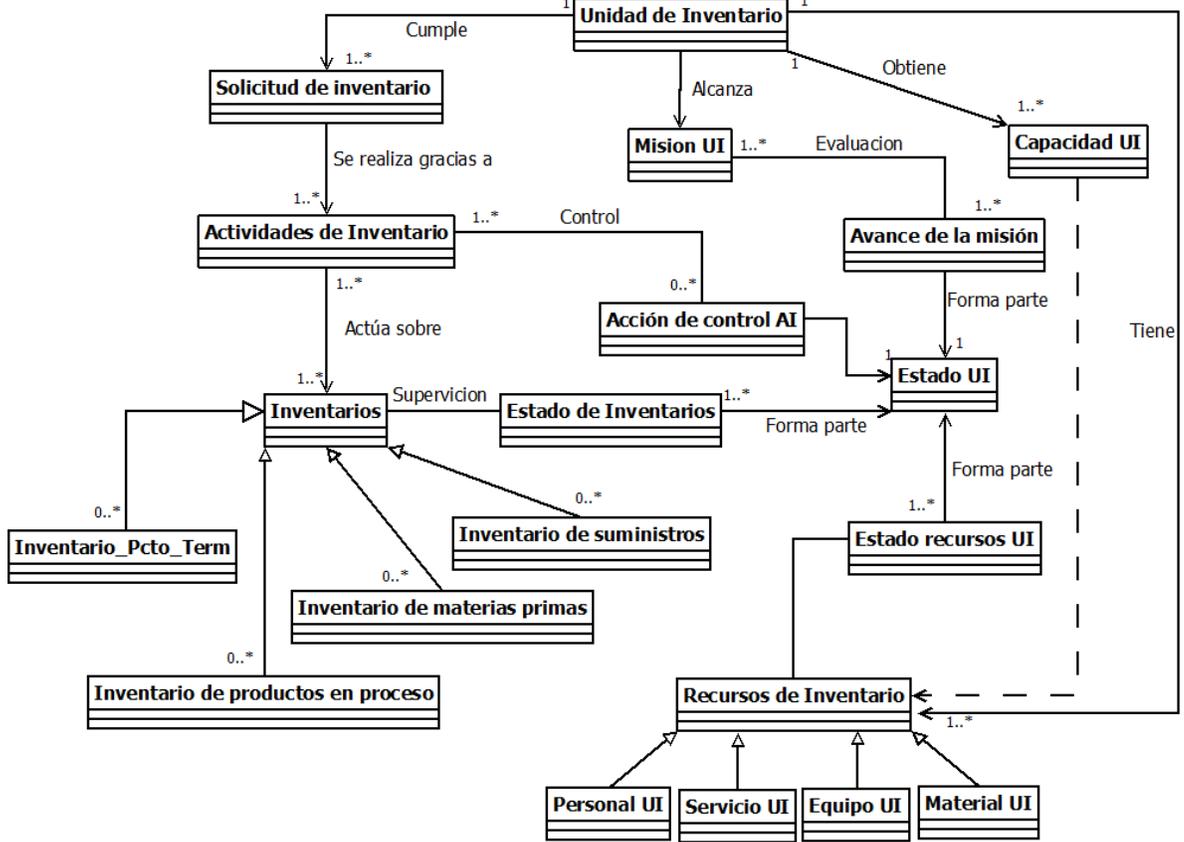
Utilizando UML se realizan los modelos estructurales de las operaciones de Inventario, específicamente los diagramas de clases permiten representar las diferentes partes organizacionales y como estas guardan relaciones entre sí.

4.1.1 UML Unidad de Inventario

La figura 12 corresponde al diagrama de clases de la Unidad de Inventario en donde se observa que inventario debe cumplir órdenes de inventario las cuales se realizan gracias a las actividades o métodos de Inventario, dentro de las cuales se abarca tanto el Modelo de Flujo de Datos Funcional como las actividades de Administración de Operaciones de Inventario. Dichas acciones permiten el manejo de materiales, el control de calidad y la transferencia de materiales, productos en proceso y productos terminados así como también el mantenimiento de maquinaria y equipos empleados dentro del área de inventario.

La unidad de inventario cuenta con recursos de personal, servicios, material y equipos necesarios para llevar a cabo todas las actividades de inventario. La capacidad de la Unidad de Inventario depende de los recursos y el estado actual de los mismos pues estos le dan la capacidad de lograr el objetivo y realizar la transferencia y manejo de inventarios. En el diagrama también es posible identificar la acción de supervisión y control representados mediante las clases acción de control de inventario y estado del manejo respectivamente.

Figura 12. Diagrama de clases de la Unidad de Inventario

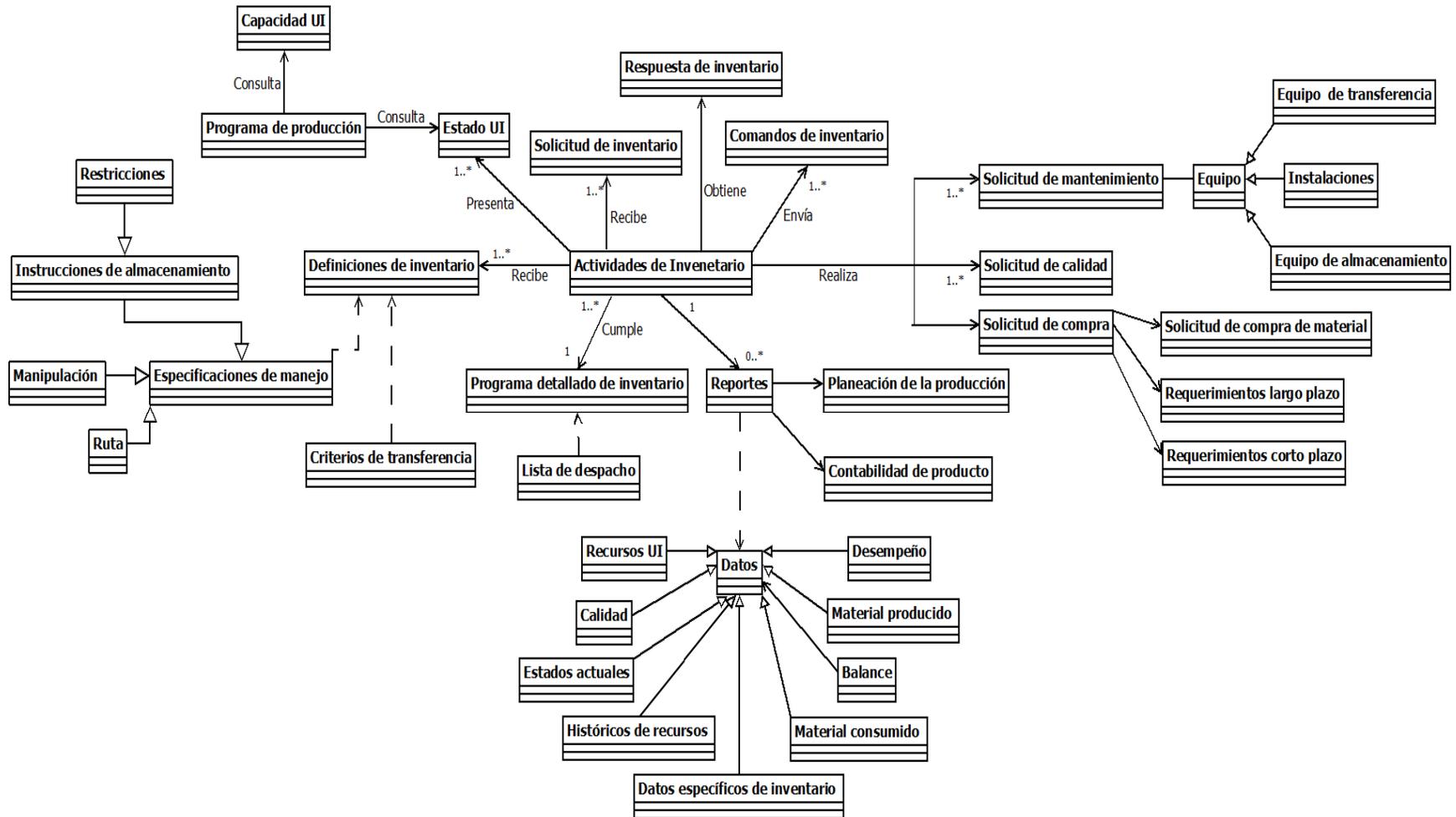


Fuente: propia, noviembre 2012

Con el fin de presentar un punto de vista diferente de las relaciones que pueden existir entre las actividades desarrolladas en la UI, a continuación se aprecia el diagrama de clases correspondiente a la información que se maneja dentro de la UI, aclarando que esta puede llegar a ser más amplia o reducida de acuerdo al tipo de organización en la que se desee trabajar.

Las clases que representan procesos directamente relacionados con el manejo y distribución de la información se han incluido en el diagrama de la figura 13. Dentro de las actividades de inventario se reciben las definiciones de inventario del nivel de negocio, las especificaciones de manejo y criterios de transferencia dependen de estas definiciones. Las especificaciones de manejo pueden ser la ruta, que corresponde a la ruta detallada de inventario que indica el movimiento de inventarios, manipulación; que hace referencia a especificaciones especiales en el manejo de materiales (condiciones medioambientales, materiales tóxicos, material contaminante o peligroso, implementos de manipulación, etc.) y las instrucciones de almacenamiento.

Figura 13. Diagrama de clases de información de la Unidad de Inventario



Fuente: propia, noviembre 2012 Fuente: propia, noviembre 2012

La clase datos representa todos los datos que se manejan en inventario entre los cuales se identificaron: datos del desempeño de la Unidad de Inventario, datos de calidad, de estados actuales, material consumido, material producido, datos específicos de inventario, balances, e históricos como los de recursos. Es posible que existan muchos más datos en cuyo caso cada clase específica heredara de "Datos" y se le incluirán los métodos y atributos para cada caso.

Los datos son necesarios para realizar los distintos reportes de inventario. Las actividades de inventario intercambian información entre sí y también envían información hacia el nivel de negocio y hacia los niveles de piso planta. La clase reporte permite dar a conocer la información que se transmite en cada una de las actividades de inventario, y que puede ser solicitada o requerida por otras actividades o áreas dentro de la organización, como por ejemplo en la planeación de la producción y en la contabilidad del producto. Se tienen reportes de capacidad, reportes de WIP (work in process), de material consumido y producido, reportes de stock de productos terminados, despacho, de estados actuales, de costos, etc. Es posible que existan muchos más reportes en cuyo caso cada clase específica heredara de "Reportes" y se le incluirán los métodos y atributos particulares en cada caso.

La unidad de inventario cumple con un programa detallado de inventario y la lista de despacho depende de dicho programa ya que cualquier modificación en él puede llegar a implicar cambios en la lista de despacho. Se reciben solicitudes de inventario del nivel de negocio, se envían comandos de inventario a los niveles 1 y 2 y se obtienen respuestas de estos niveles cuando inventario requiere información del nivel de proceso y equipos relacionada con inventario.

Dentro de las actividades de Inventario se puede realizar la solicitud de mantenimiento, que se lleva a cabo sobre equipos, pruebas de calidad o incluso solicitudes de compra cuando no hay suficientes materiales o según los requerimientos de largo o corto plazo.

4.1.2 Diagramas de clases UML de las funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional

En esta sección se muestran algunos diagramas de clases de las funciones del Modelo de Flujo de Datos Funcional. Para consultar los modelos de las 10 funciones trabajadas remítase al Anexo C.

A continuación, también se especifican todas las aclaraciones que se han considerado importantes dentro de estos modelos. Esto se hace debido a que puede existir ambigüedad en la interpretación de los mismos. Es imperante considerar, a lo largo del modelado, que esta actividad siempre estará sujeta a las

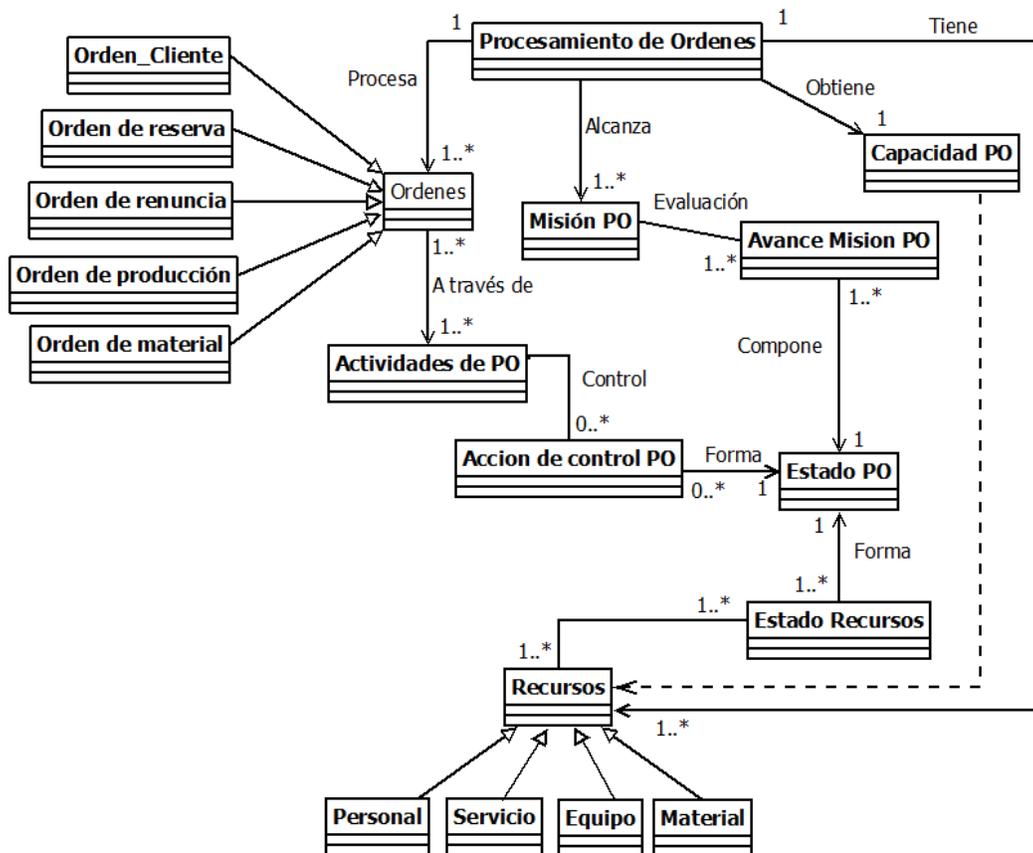
consideraciones e interpretaciones del ingeniero y esto le da un grado de carácter subjetivo que requerirá de una aclaración por parte de los modeladores.

4.1.2.1 Procesamiento de Órdenes (1):

Dentro de esta actividad se manejan, manipulan o requieren diferentes tipos de órdenes:

- Se requiere conocer la orden de producción en la cual se va trabajar.
- Es necesario manejar órdenes de renuncia y reserva (especialmente en almacén)
- Se cuenta con la orden del cliente la cual fue aceptada previamente.
- Se procesan diferentes órdenes (solicitudes) de material.

Figura 14. Diagrama de clases UML para la función Procesamiento de Órdenes.



Fuente: propia, noviembre 2012.

4.1.2.2 Programación de la Producción (2):

Esta actividad se relaciona directamente con tareas del departamento de Manufactura. Inventario participa en la programación de la producción en cuanto tiene la responsabilidad del manejo, transferencia y disposición de todos los inventarios que se requieran o resulten de la producción. Esta relación se incluyó en el diagrama a través de la clase *Programa de Producción*.

Otra tarea que se lleva a cabo dentro de esta función es la programación del embalaje; por eso se incluyó en el diagrama la clase *Embalaje*. Más adelante se observará que en otra función se realiza el embalaje de acuerdo a la programación que aquí se plantea.

4.1.2.3 Ingeniería de Soporte de Proceso (3.1) y Control de Operaciones (3.2):

Estas dos funciones se fusionaron en un solo diagrama de clases ya que ambas pueden trabajar como una sola función dentro de inventario. Es aquí donde se realizan las peticiones de mantenimiento para los equipos e instalaciones de Inventario. También se realiza la disposición y recepción de los equipos de mantenimiento los cuales deben estar bien ubicados dentro de un área específica de manera que se encuentren en las condiciones adecuadas y sea fácil su localización. Dentro de los atributos de la clase *Equipo mantenimiento* se incluyeron *Ubicación* e *IdEquipo* pensando en la facilidad de contar con un código del ítem y de la localización para tener un mejor control sobre los mismos.

4.1.2.4 Planificación de Operaciones (3.3):

Para el diagrama de clases de esta función se incluyeron relaciones con varias clases como *Almacén*, *Personal UI* y *equipo UI* porque se requieren para lograr las tareas de chequear la programación frente al estado de los recursos de Inventario y la capacidad de almacenamiento. También se necesita saber si la materia prima está disponible esto se hará a través del atributo *Estado* de la clase *Materia prima*.

4.1.2.5 Control de Material y Energía (4):

Con el diagrama de clases de esta función se presentaron dificultades en la representación de algunas relaciones debido al carácter estático de estos

diagramas. En este caso por ejemplo, es difícil especificar algunas relaciones que tienen un comportamiento más dinámico como la interacción con el departamento de Calidad, el cual es el responsable de realizar las pruebas sobre los materiales. Sin embargo se incluyen métodos como *Solicitar_Pruebas_Calidad* y *Notificar_Material_Aceptado* los cuales no se pueden especificar claramente mediante esquemas estáticos pero que más adelante se abordarán, así como muchos otros, desde una vista dinámica que permita obtener una mejor claridad sobre el comportamiento de las operaciones de Inventario.

Dentro de esta función, también se pueden generar solicitudes de compra, por eso se incluye la clase: *Solicitud de compra* que permite hacer una herencia y realizar una solicitud de materiales o una solicitud de energía dependiendo de las necesidades.

4.1.2.6 Adquisición (5):

El diagrama de la función es uno de los más extensos porque requiere una interacción con diferentes áreas de la empresa. Se incluye la clase *Compras* como representante del área compras; aunque cabe resaltar que esta relación queda limitada a especificar que hay una colaboración entre ambas, pero no se puede desarrollar claramente en que consiste dicha relación.

Dentro de esta función se pueden hacer diferentes tipos de pedidos a proveedores por eso se incluyó la clase *Pedido a Proveedores* la cual permite hacer la herencia correspondiente en cada caso. Se recogen los requerimientos para realizar los pedidos por eso se incluye como una clase relación.

También se incluye la clase *Factura* con una relación hacia materias primas ya que se deben emitir las facturas una vez aceptada la materia prima. La navegabilidad de esta relación se especificó de forma bidireccional indicando que si se tiene una materia prima se sabe que factura tiene asociada y en la factura se ve que materia prima se compró.

4.1.2.7 Aseguramiento de la Calidad (6):

Al realizar el diagrama para la función, se encontró que en esta se llevan a cabo varias tareas sobre el material como son: pruebas de calidad, clasificación y liberación para su uso posterior. Sin embargo, dentro del modelo de materiales definido en la parte 2 del estándar ISA 95 no se abarcan las actividades que incluyen pruebas y clasificación de productos terminados. Por este motivo se incorporan las tareas de: Pruebas a productos terminados y Clasificación de

productos terminados. Esto se aprecia en el diagrama mediante la relación con productos terminados con sus métodos: *Prueba_productos* y *Clasificación_productos*.

Para el desarrollo de este trabajo se considera que un material puede ser de diferentes tipos como:

- Materias primas
- Suministros: los cuales se han definido como dotaciones necesarias para realizar las operaciones. Ejemplos: guantes, overoles, instrumentos de seguridad, entre otros.
- Productos en proceso: se han clasificado como material ya que estos se utilizan dentro del proceso productivo y pueden transformarse y/o agruparse y cuentan con propiedades útiles para la culminación del productos final.

4.1.2.8 Control de Inventario del Producto (7):

En el diagrama de esta función se incluye la clase relación *Solicitud _Ventas* porque es necesario conocer información de las directivas de ventas de productos para hacer las reservaciones del producto oportunamente.

Existe una relación directa entre el Embalaje y el *Programa de entrega* porque esto permite hacer el embalaje a tiempo y así evitar retrasos o cuellos de botella, de esta forma se presenta un mejor acoplamiento entre departamentos y se facilita su cooperación.

4.1.2.9 Contabilidad del Costo del Producto (8):

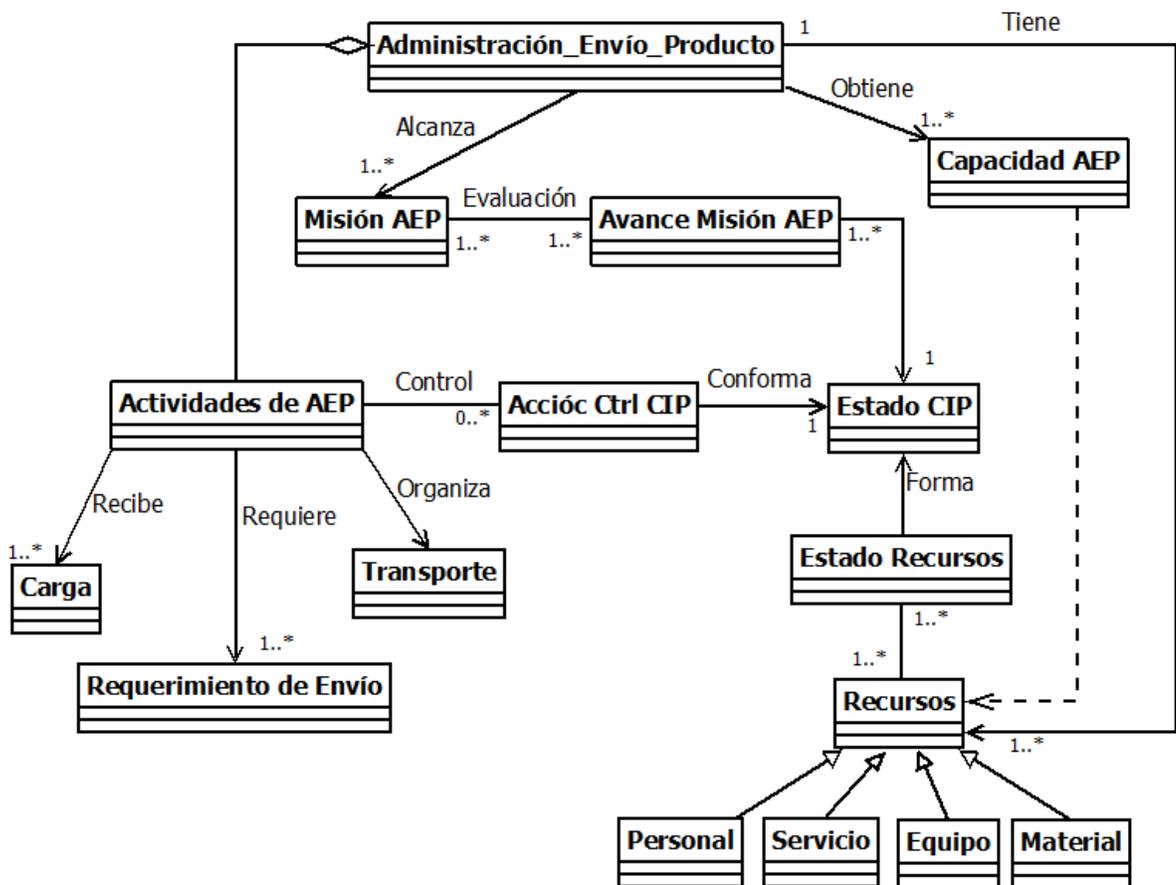
En el diagrama de esta función se relacionan las clases *Materia Prima*, *Personal UI* y *Fuentes Energía* porque se necesita recolectar los costos de cada uno de ellos y así poder calcular el costo total del producto dentro de Inventario. Mediante el método *Calcular_reportar_costo_para_produccion* se pueden calcular los costos de Inventario en la producción.

Cabe resaltar que esta función presenta otras relaciones pero no se pueden llegar a representar mediante un diagrama de clases. Para poder calcular y reportar los costos de Inventario se requiere recopilar información de diferentes tareas y recursos y colaborar con diferentes áreas de la empresa. Este comportamiento se puede ver con mayor claridad en un modelo dinámico.

4.1.2.10 Administración de Envío del Producto (9):

El diagrama de clases para esta función es simple y presenta pocas relaciones puesto que se tienen en cuenta únicamente las actividades para disponer y despachar el transporte. Todo lo referente a los procesos de Administración de Transporte se considera responsabilidad de la empresa transportista en caso de contratarse externamente. Si la empresa cuenta con el proceso de transporte se establecería como un departamento distinto fuera de las responsabilidades de Inventario.

Figura 15. Diagrama de clases para la función Administración de Envío de Producto



Fuente: propia, noviembre 2012.

4.1.2.11 Administración del Mantenimiento (10):

Se incluye la clase *Mantenimiento* como una representación de la relaciones con inventario. Esta relación es de colaboración entre ambos departamentos.

Inventario recibe el plan de mantenimiento preventivo y también colabora en el mantenimiento de sus instalaciones.

Las relaciones con Mantenimiento son muy importantes ya que, como se había mencionado en el capítulo anterior, las funciones encargadas del mantenimiento tienen un manejo de inventario. Esto se ve reflejado en los sitios dispuestos para guardar las herramientas o las autorizaciones para compra de nuevos materiales de Inventario.

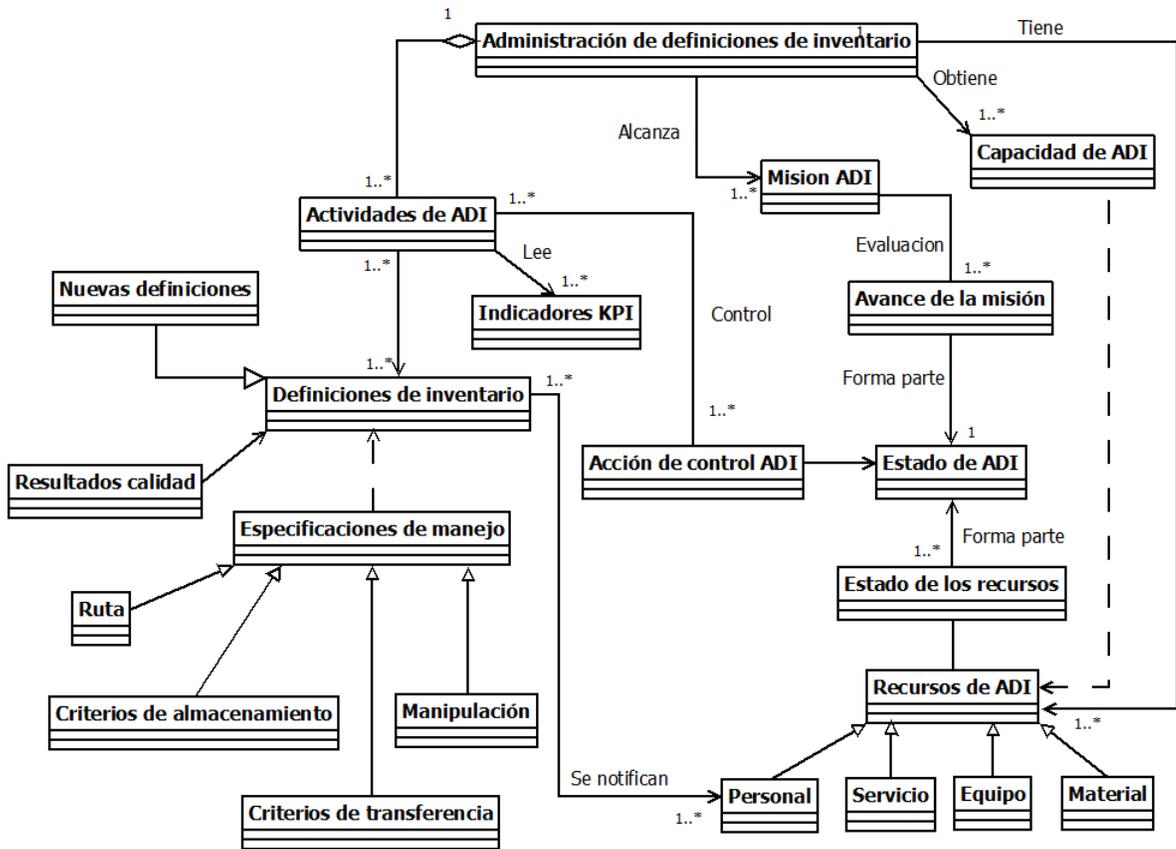
4.1.3 Diagramas de clases UML de las funciones del Modelo de Administración de Operaciones de Inventario

Las diferentes actividades correspondientes al modelo de Administración de Operaciones de Inventario (AOI) se modelaron con base en la estructura de la Unidad de Inventario, esto permite obtener un comportamiento holárquico ya que se cumple con las características holónicas lo cual brindará las ventajas propias del paradigma, especialmente la auto similaridad; la cual se verá reflejada en el hecho de que todas las actividades de inventario se comportarán, en términos generales, como la Unidad de Inventario; esto significa optimizar los procesos puesto que se está evitando la redundancia de información a lo largo del desarrollo de las actividades. La auto similaridad en los diagramas de clases permite reutilización de código y gracias a la herencia de clases es posible tener siempre los recursos necesarios para el modelado y la implementación correspondiente. Esto quiere decir que en lugar de crear un número excesivo de clases con métodos y atributos similares, es posible optimizar el proceso creando clases generales de las cuales heredar, ya que todas las actividades de administración de operaciones de inventario tendrán un comportamiento similar a la unidad de inventario.

4.1.3.1 Administración de Definiciones de Inventario (A):

La relación que se presenta entre la clase de *Nuevas definiciones* y *Definiciones de inventario* (figura 16) está orientada a la necesidad de crear aquellas definiciones que no han sido consideradas con anterioridad y que no se pueden obtener tan solo utilizando el método *Modificar* que pertenece a la segunda clase. Además para ejecutar el método *Optimizar* que se encuentra en la clase *Definiciones de inventario* es necesaria una relación directa con la clase *Resultados calidad*, esta permite realizar el análisis que lleva a obtener mejores definiciones de inventario.

Figura 16. Diagrama de clases Administración de Definiciones de Inventario



Fuente: propia, noviembre 2012.

4.1.3.2 Administración de Recursos de Inventario (B):

Dentro de los métodos de *Actividades de ARI* se incluye el manejo de las existencias esto se logra gracias a una relación directa con *Almacén* dentro del cual se encuentran los diferentes recursos necesarios para la ejecución de las actividades de inventario y por ende su manejo necesita una relación con los *Recursos UI*. Adicionalmente tal manejo es dependiente de las *Requerimientos de negocio* y según los *Requerimientos de producción*.

Otro de los métodos contemplados dentro de las *Actividades de ARI* es *Asegurar* que abarca el aseguramiento de la disponibilidad de equipos, de cargos y entrenamiento adecuado de personal.

4.1.3.3 Programación Detallada de Inventario (C):

Las clases *Ruta actual* y *Ruta planeada* heredan los métodos de la clase *Ruta* y son utilizadas para comparar los movimientos actuales con los planeados y determinar si se ha cumplido la ruta planeada o si han existido modificaciones. Dentro de las *Actividades de PDI* se pueden crear de cero a muchas *Orden de trabajo de inventario* que permiten definir los diferentes trabajos que serán ejecutados, la definición de esta última clase depende de la *Solicitud de inventario*.

4.1.3.4 Despacho de Inventario (D):

Dentro de los métodos empleados en la clase *Actividades DI* se encuentra *Nueva_asig* que se refiere a la capacidad que tiene esta función para realizar nuevas asignaciones que no se han contemplado anteriormente, dándole autonomía para determinar en qué momento esto es pertinente o no.

4.1.3.5 Administración de Ejecución de Inventario (E):

La clase *Reglamento* es utilizada para cumplir el método *Asegurar_operac_tranf* que se ejecuta teniendo en cuenta diferentes regulaciones para la transferencia de material o productos. El método *Informar* se emplea para dar a conocer a las funciones que lo requieran o a la programación detallada de transferencia sobre los eventos que se presentan, incluidos los eventos no anticipados para lo cual se establece una relación con la clase *Histórico eventos* a través de la clase *Datos*. La relación que se aprecia en la secuencia desde la clase *Trabajo terminado-Calidad-Resultados de calidad*, indica una serie de actividades que no pueden ser abarcadas dentro del diagrama UML, esto es el proceso que se realiza una vez ha concluido un trabajo y se procede a realizar pruebas de calidad sobre el mismo para lo que se recurre a calidad que se encarga de efectuar los procedimientos necesarios y entrega los resultados de calidad específicos para tal trabajo. Lo anterior permite confirmar que el trabajo fue desarrollado como se esperaba.

4.1.3.6 Recolección de Datos de Inventario (F):

La clase *Historico eventos* cuenta con un método llamado *Atender* que se refiere a las acciones que se pueden llevar a cabo para solucionar los eventos que se presentan teniendo en cuenta que estos pueden ser anticipados o no anticipados.

La clase *Mantenimiento UI* se considera como una clase que permite desarrollar las actividades orientadas a tareas o funciones de mantenimiento dentro de la Unidad de Inventario.

4.1.3.7 Seguimiento de Inventario (G):

Dentro de los métodos de la clase *Actividades de SI* se encuentra *Registrar* este se refiere al registro y actualización de movimientos y administración de material almacenado y para ejecutarlo se recurre a la clase *Registros* dentro de la cual estos pueden ser creados, actualizados, modificados, etc.

4.1.3.8 Análisis de Inventario (H):

Algunos de los métodos indicados en la clase *Residuos de almacenamiento* como *Analizar_res* y *Desechar_res* son actividades que se llevarían a cabo por una persona o una máquina que representaría la parte física de un holón y su parte lógica sería el método asignado para realizar dichas actividades.

4.2. MODELADO ESTRUCTURAL MEDIANTE IDEF0 (DEFINITION FOR FUNCTION MODELING)

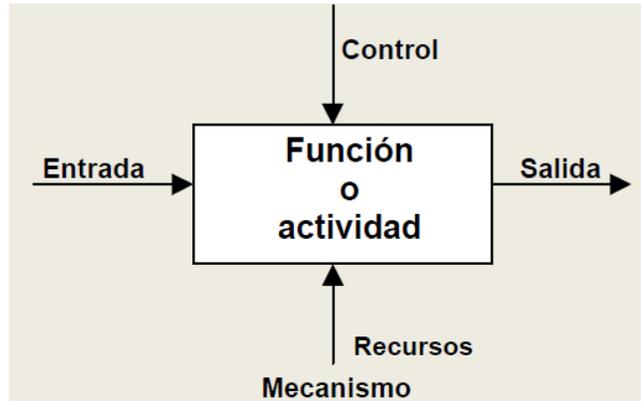
Continuando con el desarrollo del modelado estructural de las operaciones de Inventario se procede a utilizar IDEF0. Esta es una metodología para representar de manera estructurada las actividades que conforman un sistema o empresa y los objetos o datos que soportan la interacción de esas actividades [34]. Esta metodología permite modelar gráficamente sistemas con diferentes propósitos y a cualquier nivel de detalle que se desee. De esta forma es posible realizar el modelado de las actividades que anteriormente fueron abordadas a través de diagramas UML.

A través de los diagramas obtenidos con la aplicación de IDEF0 es posible tener una mayor visión de los intercambios de información y material que se llevan a cabo dentro de las actividades de Inventario, para esto cabe señalar que son de gran ayuda las tablas obtenidas en el capítulo 1 y que a partir de estas se obtienen los diferentes flujos a modelar.

Es importante aclarar que el concepto de la jerarquía propia del modelado en IDEF0 no se aplica en los modelos realizados en este apartado. Se presentan jerarquías temporales como característica de los sistemas holónicos de manufactura; sin embargo todos los diagramas en IDEF0 presentados no indican jerarquías permanentes como suele suceder en este tipo de modelos.

Para empezar con este modelado, se debe establecer cuál de la información que se maneja dentro de Inventario corresponde a una entrada, control, salida o mecanismo de determinada actividad (ver figura 17).

Figura 17. Definición de actividades para IDEF0



Fuente: Material de clase. Modelado de sistemas integrados de producción. 2012

Como complemento a la definición se debe tener claro el concepto de cada una de estas características:

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

4.2.1 Diagrama A₀– Inventario

Una vez se cuenta con toda la información necesaria, se realiza el A₀ que corresponde a la mayor abstracción que se puede tener del proceso que se desea modelar, que en este caso son las operaciones de Inventario.

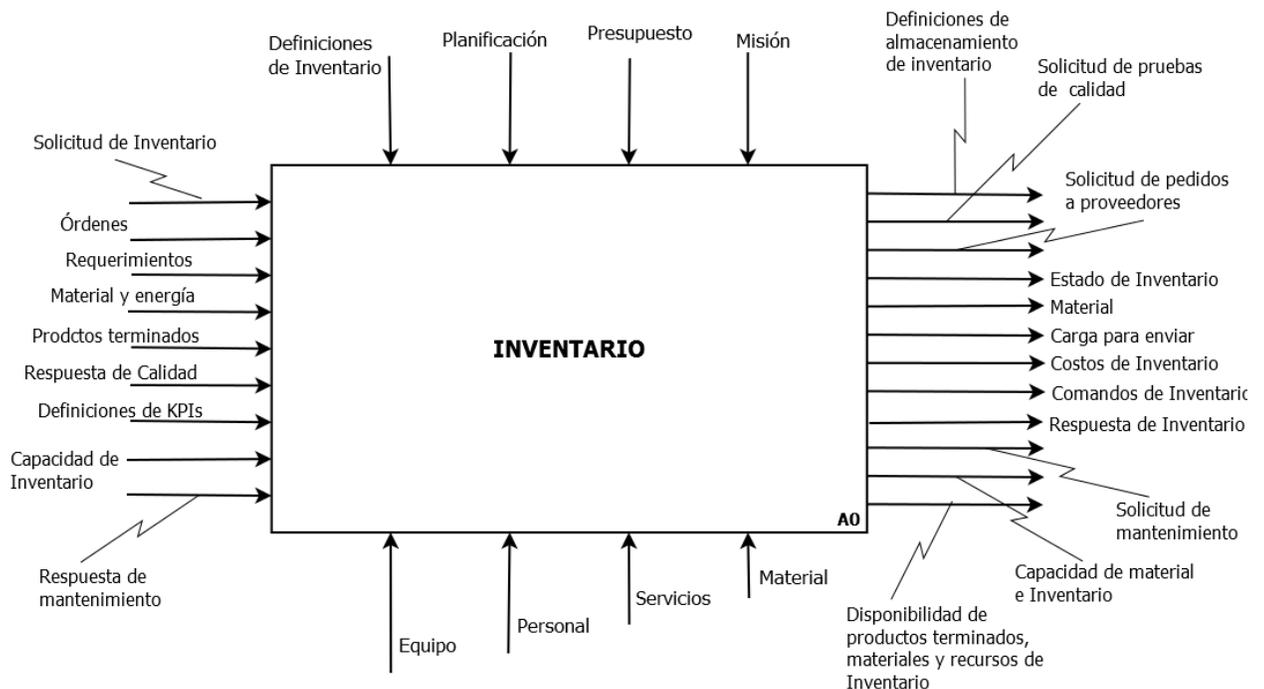
El diagrama A₀ (Inventario) se aprecia en la figura 18, donde se pueden identificar los diferentes recursos e información que se requiere para llevar a cabo cada una

de las actividades contempladas para Inventario y también se consideran las salidas que se pueden obtener.

Una de las salidas que se aprecia es una respuesta de inventario. Esta puede incluir diferentes acciones sobre los inventarios de la empresa como un movimiento, una reubicación o un transporte, entre otros. Las respuestas de inventario dependen de las diferentes solicitudes que se presenten.

En la figura también se nota que para el desarrollo de las actividades de inventario es necesario tener presente la planificación de la producción que ha sido previamente realizada en otra unidad de producción, pues esta es la que rige el desarrollo de las actividades y la asignación final de los recursos.

Figura 18. Diagrama en IDEF0 de Inventario



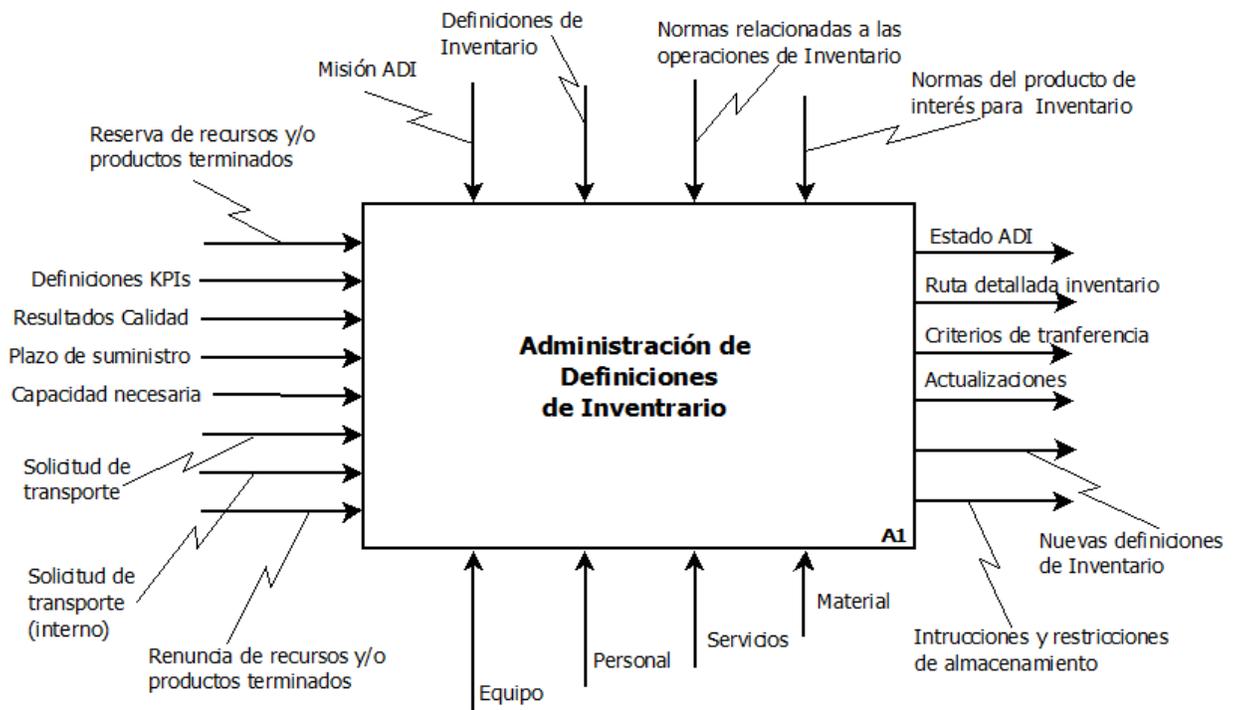
Fuente: propia, diciembre 2012

Se realizaron los modelos en IDEF0 de cada una de las funciones trabajadas para Inventario y se organizaron en el Anexo C. A manera de ejemplo se incluye a continuación la figura 19 que es el diagrama en IDEF0 correspondiente a la función (A). Se incluyen todos los flujos identificados en el análisis del capítulo 1 que corresponden a entradas o salidas de la función Administración de Definiciones de Inventario. Los flujos de entrada provienen de otras funciones o de las diferentes partes de la empresa como calidad, mantenimiento, producción, piso

planta o nivel 4. Así mismo los flujos de salida pueden dirigirse a diferentes funciones o diferentes partes de la empresa.

Los diagramas del anexo C de las figuras 31 a 48 muestran únicamente la representación de los flujos de información como entradas y salidas; sin incluir el flujo de materiales ya que el propósito de estos modelos es estructurar y presentar gráficamente y de forma ordenada todos los flujos que se identificaron para cada función.

Figura 19. Diagrama en IDEF0 de la función Administración de Definiciones de Inventario (A).



Fuente: propia, diciembre 2012.

En cada uno de los diagramas, al igual que en el A₀ también se incluyeron elementos de carácter holónico como:

- La misión, la cual se considera debe entrar por la parte superior del cuadrado de la función o actividad. El comportamiento de cada función se rige por la misión a cumplir ya que es su objetivo. Los holones pueden participar en otras misiones u objetivos siempre que no afecten el cumplimiento de la suya.

- El estado de cada función como un flujo en la salida ya que es importante notificar el estado de cada uno para realizar un control sobre las holarquías y hacer una supervisión correspondiente de las actividades.
- Evidencia de la asociación de cada holón a un recurso. Cada uno de los diagramas de las funciones incluye mecanismos o recursos que ingresan por la parte inferior de recuadro.

4.2.2 Interacción entre funciones de Inventario

Una vez se han expuesto todos los flujos de cada función de forma independiente se pueden ubicar todas las funciones en un diagrama que muestre la interacción de información entre las mismas. El diagrama de la figura 20 indica el intercambio genérico de información. No se especifica cada uno de los flujos pues resulta difícil la disposición de los mismos, por eso se asignó un color a cada función y se determinó el uso de un solo hilo de información que representa todos los flujos. Así, es posible ver cuales funciones se encuentran enlazadas por intercambios de información que generalmente pueden activar las actividades internas (subfunciones) y definir la dinámica de las operaciones de Inventario.

En el diagrama de la figura 21 se representa el flujo de material e información que activa operaciones sobre material. Se aprecia una mayor cooperación entre las funciones de inventario participando en una holarquía total como es el funcionamiento del área de Inventario o en holarquías pequeñas como es el caso de la recepción de mercancías en la que participan las funciones de *Control de Material y Energía* y *Aseguramiento de la Calidad*.

Esta “pequeña” holarquía inicia con la recepción de mercancías a las cuales se deben realizar pruebas de calidad con el objetivo de determinar si son admisibles o no. Aseguramiento de la Calidad es quien recibe una solicitud de verificación sobre las mercancías, con esto, realiza la prueba y autoriza las mercancías. Una vez se recibe la autorización (*Control de Material y Energía*) se tienen que transportar y/o almacenar los materiales con lo que se obtiene nuevos flujos de material a través de otras funciones. Además se realiza y envía la lista diaria de entrada de mercancías.

Figura 20. Relaciones entre funciones a través de flujos de información

Figura 21. Relación de flujo de información y material

4.3. CARACTERÍSTICAS HOLÓNICAS EN LOS MODELOS ESTRUCTURALES.

Es importante que al realizar los modelos de las actividades de Inventario, estos reflejen un comportamiento holónico y logren el cumplimiento de los requerimientos de la industria. A continuación se describen aspectos del análisis sobre los modelos realizados.

Diagramas realizados en UML

Dentro de los modelos realizados en UML se encuentran las siguientes características holónicas:

- Autosimilaridad: esta propiedad se aprecia claramente en los modelos de las funciones los cuales presentan una configuración similar a la Unidad de Inventario. Todos cuentan con características de control, la misión y el avance en la misión para la supervisión.
- Autonomía: se observa a cada holón por separado siendo capaz de cumplir sus metas y además el holón mediante la clase *Avance en la misión* puede monitorear la ejecución de sus propios planes y toma correctivos en contra de su propio mal funcionamiento.
- Colaboración: es interesante que mediante el UML se aprecien también esta propiedad. Esto se debe a que varios holones comparten clases que permiten realizar diferentes métodos de manera colaborativa. Ejemplo de esto es la clase “Carga” cuyos métodos se hacen en colaboración entre holones.

Diagramas realizados en IDEF0

Las propiedades holónicas que se pueden encontrar en estos modelos son:

- Colaboración: en los diagramas se observa como los holones interactúan entre sí en el cumplimiento de los objetivos de Inventario. En la figura 21 la interacción se ve claramente ya que la activación y el flujo de material es responsabilidad de varios holones. Se encuentran inmersas varias holarquías en medio
- Reactividad: parte del “cumplimiento” (reflejo) de esta característica se percibe gracias a la inclusión de flujos:
 - ✓ *Aviso de perturbaciones*, con el cual el holón indica que han sucedido eventos anormales que ha podido resolver satisfactoriamente dando

como resultado una comunicación de las fallas para el seguimiento de las operaciones de Inventario.

- ✓ *Perturbaciones*, que permiten al holón informar situaciones anormales en las cuales él mismo no puede encontrar una solución. En estos casos el holón requiere de la colaboración de otros holones para alcanzar el cumplimiento de sus objetivos.
- **Benevolencia:** cada holón tiene una misión que le permite organizar sus métodos conforme obtiene sus objetivos y además cuenta con diferentes flujos de información que en este caso activan diferentes actividades dentro de cada función. Estos dos elementos hacen que cada holón siempre esté dispuesto a participar en diferentes escenarios de colaboración. En el momento en que se recibe un flujo pueden entrar a participar en más de una holarquía a la vez.
- **Habilidad social:** gracias al vector de estados del holón, él puede comunicar su situación actual a la holarquía y constituye una base inicial para la comunicación entre holones. También permite la coordinación y la negociación logrando un trabajo colectivo dentro de Inventario.

El holón tiene comportamiento interactivo para comunicarse, cooperar, coordinarse y negociar con otros holones y humanos, con el objetivo de lograr un trabajo colectivo en todos los niveles de la organización.

5. MODELADO DE INVENTARIO: DINÁMICO

El modelado dinámico permite identificar y representar los aspectos de un proceso (sistema o conjunto de actividades) relacionados con el tiempo y el control del sistema. Mediante un modelo dinámico es posible observar el comportamiento del sistema como respuesta a estímulos externos e internos y también se logra estructurar y organizar actividades relacionadas de forma integrada para alcanzar objetivos en un tiempo esperado. Los distintos elementos en interacción que conforman un modelo de negocio poseen una dinámica en tiempo real que responde a distintos estados y eventos; por ello se deben realizar modelos donde sea posible plasmar la evolución en el tiempo, informar estados actuales y especificar el comportamiento frente a diferentes eventos que pueden ser esperados o no anticipados.

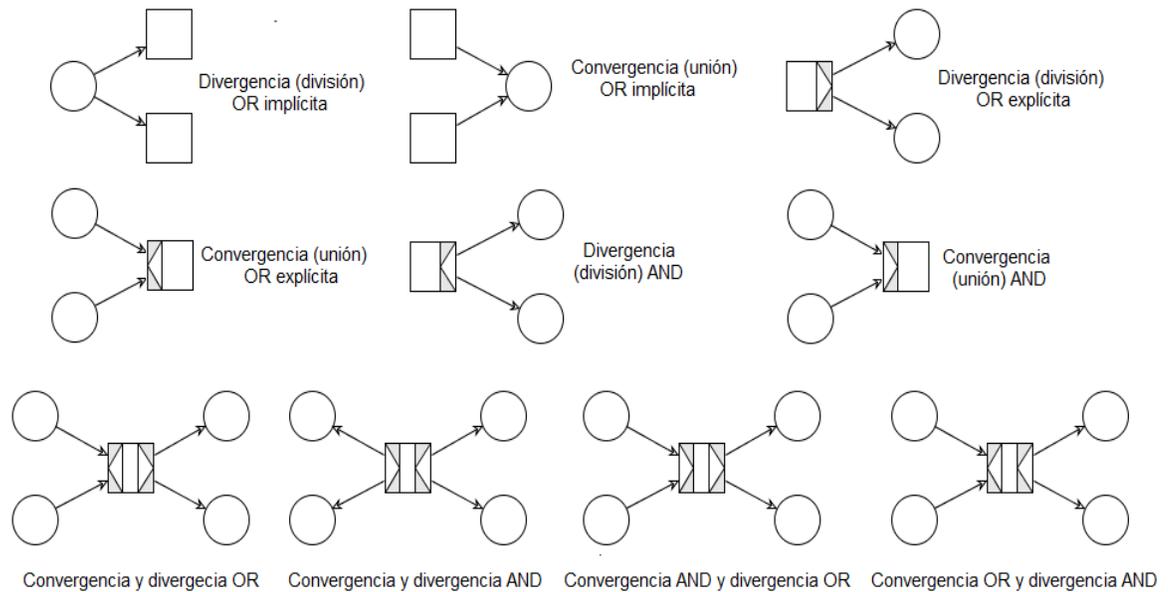
Existen diferentes modelos y técnicas que permiten especificar y representar la dinámica de procesos de negocio como son: diagramas UML como el de estado, interacción y actividad, redes de Petri, redes de Petri de *Workflow*, entre otros. Actualmente, estos se han convertido en herramientas poderosas para modelar sistemas de gestión de flujos de trabajo en las organizaciones, como sistemas de colaboración que dan soporte a la automatización

Lo anterior es de suma importancia en los sistemas holónicos de manufactura pues permite mantener integrados los procesos mediante la interacción de las distintas unidades, las cuales conservan su autonomía. Así se ha optado por trabajar con *Workflow* el cual se refiere al flujo de trabajo a seguir para la consecución de una tarea o trabajo predeterminado. Se define como un sistema de secuencia de tareas de un proceso de negocio. Su control puede ser manual, informatizado o mixto. Organiza y controla tareas, recursos y reglas necesarias para completar el proceso de negocio. [35]; abarcándola toma de decisiones que se puede presentar en el desarrollo de determinado trabajo.

Las distintas herramientas que permiten representar flujos de trabajo contribuyen a la automatización de procesos empresariales, de tal manera que estos sean más fáciles de administrar y entender. Si bien existen diferentes paradigmas como XPD (XML Process Definition Language), BPEL4WS (Business Process Execution Language for Web Services) para el modelado de *Workflow*, los modelos que se presentaran a lo largo de este capítulo se realizaron con Redes de Petri. Estas son ideales para estructurar las tareas de un proceso, facilitan el modelado para especificar cómo se realizan dichas tareas, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan y cómo fluye la información que soporta las tareas. Además su uso permite una representación gráfica que facilita la comprensión del sistema modelado y simultáneamente permiten un análisis formal en el establecimiento, verificación y validación de los modelos [35].

Basándose en la teoría de WF-Nets se encuentran distintos bloques de construcción, especificados en la figura 22, para el entendimiento de los modelos propuestos para las actividades de Inventario que se presentan en este capítulo. En la dimensión de proceso, los bloques de construcción tales como AND-split, AND-join, OR-split y OR-join se utilizan para modelar el enrutamiento secuencial (relaciones causales entre las tareas), condicional (puede variar entre dos casos), paralelo (cuando es necesario ejecutar dos tareas pero no hay restricción en el orden de las mismas), e iterativo [36].

Figura 22. Bloques de construcción para Workflow



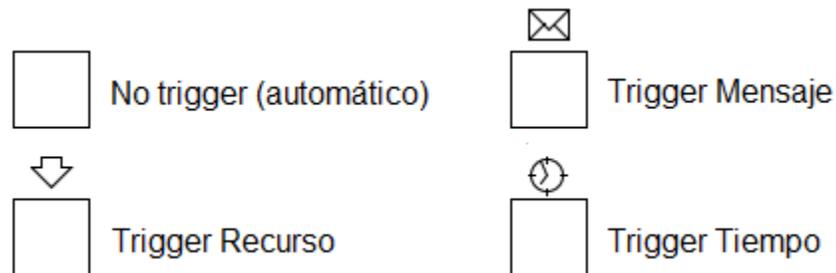
Fuente: propia, diciembre 2012.

- Divergencia (división) OR implícita: se sigue el flujo de la tarea que se presente primero sin un criterio claramente definido.
- Convergencia (unión) OR implícita: una o varias tareas convergen en una condición sin un criterio claramente definido
- Divergencia OR explícita: se encoge que flujo de tareas se debe seguir basados en un criterio claramente definido. Se puede dar por ejemplo, una condición de verificación y de acuerdo a dicha verificación se sigue determinado flujo de tareas. También se puede dar el caso de una toma de decisión entre varias opciones y se sigue sólo uno de los flujos de tareas.
- Convergencia OR implícita: existen varias tareas que convergen pero solo se presenta una de ellas dependiendo de un criterio específico

- Divergencia AND: una vez se finaliza esta tarea, se habilitan todos los flujos de tareas que divergen en ella.
- Convergencia AND: para que la tarea se lleve a cabo se deben cumplir todos los flujos de tareas que convergen en ella.
- Convergencia y divergencia OR explícitos: la tarea se lleva a cabo una vez se presenta uno de los flujos de tareas que convergen a ella dependiendo de un criterio claramente definido. Una vez finalizada la tarea se habilita solo unos de los flujos de tareas que divergen en ella dependiendo del criterio correspondiente.
- Convergencia y divergencia AND: la tarea inicia una vez se cumplan todos los flujos de tareas que convergen en ella y una vez finalizada la tarea se habilitan todos los flujos de trabajo que divergen de ella.

Mediante la herramienta de WF-Nets utilizada se puede especificar en el modelo dinámico si una actividad se realiza de manera automática, mediante un recurso, si depende del tiempo o si se envían o reciben mensajes utilizando los diferentes disparadores proporcionados (figura 23); esto da un mayor entendimiento del proceso y visualmente brinda mayor información del mismo.

Figura 23. Tipos de triggering (disparadores)



Fuente: propia, diciembre 2012

5.1 MODELADO EN WF-Nets PARA LAS ACTIVIDADES DE ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos en el modelado dinámico de las 18 funciones de Inventario y de algunas de las holarquías que se pueden estar relacionadas con estas. Para ver las demás redes dirigirse al **Anexo D**.

Teniendo en cuenta que para el desarrollo de los modelos no se consideró una empresa particular si no que fueron realizados de forma genérica, no se define si

los recursos utilizados para el desarrollo de las tareas dentro de las WF-Nets son software, hardware, personal u otro, por esto en cada una de las tareas; a excepción de aquellas que implican la llegada o envío de mensajes (que pueden ser documentos o información transmitida de forma verbal o por medios electrónicos) se indica que son realizadas de forma automática, sin que esto implique la restricción de tareas manuales.

Más adelante, cuando se aborde la información concerniente al caso de estudio se hará la especificación respectiva del uso de recursos en el desarrollo de las diferentes actividades.

5.1.1 Control de las actividades de inventario

Con el fin de lograr autonomía frente a las perturbaciones en cada función se implementa, como se mencionó en el modelado estructural, el manejo de *Perturbaciones* y *Aviso de perturbaciones* en la figura 1 se observa una serie de actividades que se realizan en cada función. A través de esta secuencia cada holón puede tomar decisiones sobre control de eventos no anticipados.

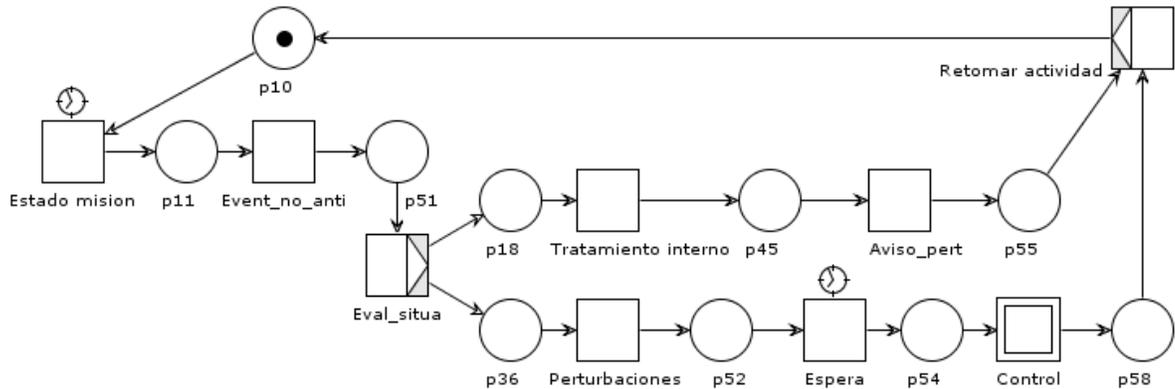
El ciclo de control interno de cada holón inicia con la supervisión del estado de la misión. En el momento en que ocurre un evento no anticipado se evalúa la situación y el holón determina si puede realizar un tratamiento que lleve a una solución o si es necesario solicitar ayuda externa.

En el primer caso se hace un control autónomo llegando a resolver el problema e informando, a través del flujo *Aviso de perturbaciones*, acerca de la ocurrencia del evento y cuáles fueron las medidas tomadas.

En el segundo caso, se determinó que el problema sobrepasa la capacidad del holón y se envía el flujo *Perturbaciones* con el cual se espera una respuesta. En este punto entra a actuar la holarquía de *Control de Inventario* (la cual se especificará más adelante) que es representada por la subrutina *Control* en la figura 24. Aquí se logra evidenciar la dinámica que se presenta para que haya colaboración entre los holones (funciones o sub funciones), pues cada uno de ellos desarrolla su trabajo normalmente a menos que se presente un inconveniente, caso en el cual existe una intervención inmediata de una holarquía que se forma a partir de la necesidad presentada a partir de la perturbación y termina una vez se haya solucionado el inconveniente presentado.

En ambos casos se obtiene como resultado una situación controlada y estable, por lo tanto se retoman las actividades en cada función y se vuelve a iniciar el ciclo sensando nuevamente el estado de la misión.

Figura 24. Ciclo de control interno de cada holón.



Fuente: propia, enero 2013

5.2.2 Control de Inventario de Producto

Esta función está orientada a las tareas relacionadas con el producto terminado como el embalaje, el almacenamiento, balances de producto y pérdidas del mismo.

El embalaje inicia con la recepción del plan de embalaje que envía *Programación de la Producción* y la recepción de la orden de embalaje que indica cuando se debe generar el embalaje del producto final de acuerdo con la programación de entrega. Luego se arregla la carga o el envío físico y cuando se recibe el certificado que avala que el producto fue producido según condiciones de proceso estándares se libera la carga y se manda el mensaje que indica que el envío físico ha sido liberado hacia *Administración de Envío del Producto*.

Dentro de esta función se realiza el manejo de inventarios de producto terminado que puede incluir tareas como llevarlo desde producción hasta el almacén, almacenarlo, etiquetarlo y organizarlo en las respectivas localizaciones.

Cuando se manejan inventarios de productos terminados una tarea importante es la de realizar conteos que pueden ser de forma programada o a pedido. Los conteos son necesarios para reportar los inventarios y realizar el balance y pérdidas de producto, tanto en costos como en número de existencias.

Cuando se recibe una consulta sobre las existencias actuales de inventario de producto se puede dar una respuesta inmediata si se ha realizado un conteo previo en un plazo razonable; de lo contrario (el conteo fue realizado con mucha antelación) se realiza un conteo y se informa sobre los datos de existencias.

Existen diferentes peticiones o flujos de información que activan el transporte y el almacén dentro de esta función ejemplos de esto son:

- Activaciones de inventario.
- Ordenes de transporte.
- Ordenes de preparación y salida de almacén.

Todos ellos requieren un transporte interno por lo que se activa el transporte y se anuncia, luego se hace un movimiento de almacén y se avisa dicho movimiento. De manera similar se trabaja cuando se recibe una orden de almacén que puede ser de salida o de almacenamiento, en ambos casos existen un transporte y un movimiento que se anuncian.

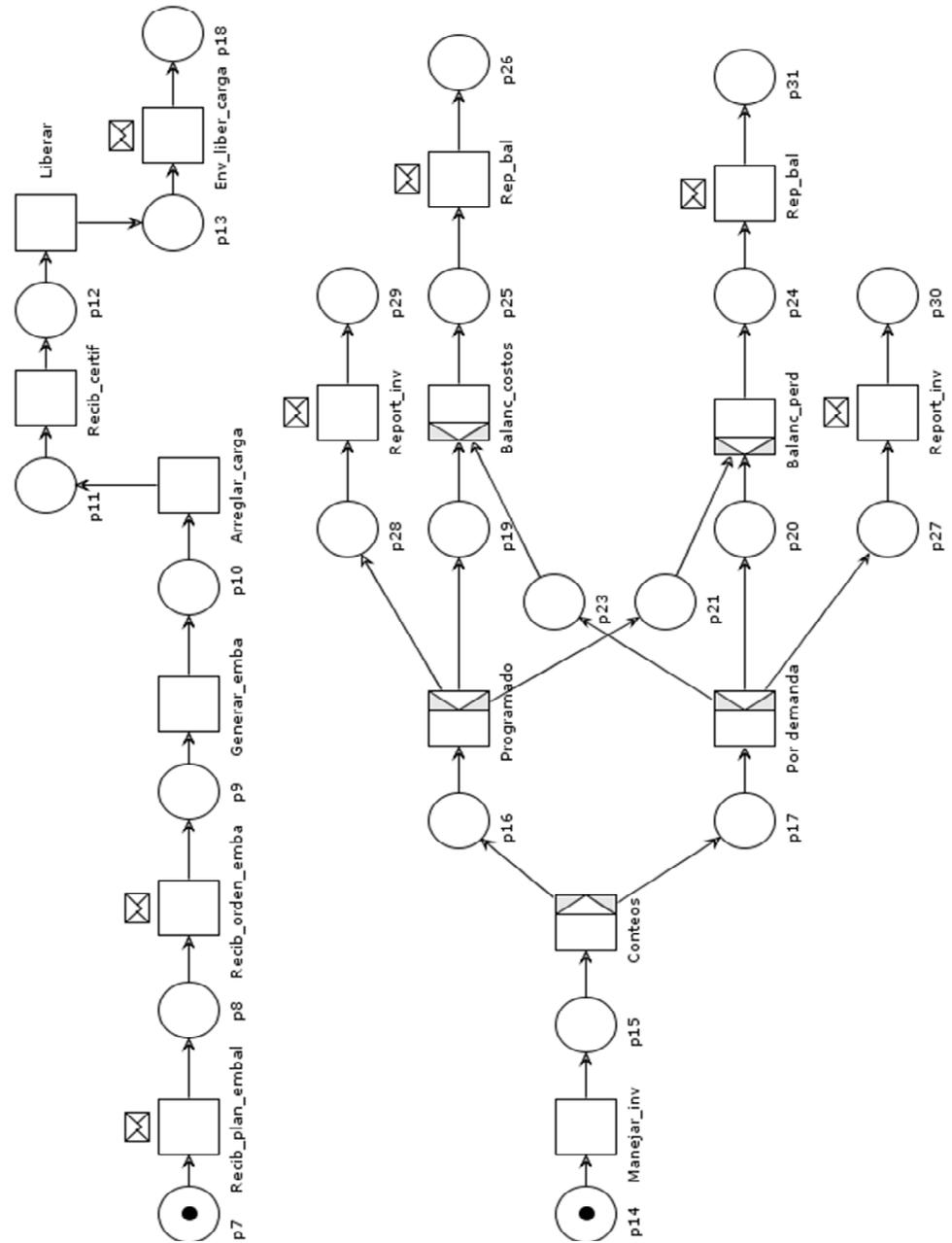
La última actividad considerada dentro de esta función es la reserva de productos para ello se lleva a cabo la siguiente secuencia de tareas: inicialmente se recibe el mensaje de reserva de productos terminados con el cual se le indica a esta función la cantidad de productos a reservar y la prioridad.

Una vez se sabe la cantidad requerida, se verifican las existencias para determinar si es posible o no hacer la reserva solicitada; en caso de que no exista una cantidad suficiente o entre en conflicto con otras entregas de mayor prioridad es necesario comunicar que no es posible hacer la reserva porque incurriría en faltantes o porque no hay una cantidad suficiente para cubrir lo demandado. En este caso se debe esperar a que se realicen nuevos productos y se alcance el volumen deseado con lo que se verifica nuevamente para determinar si esta vez es posible o no hacer la reserva.

Es importante resaltar que las diferentes actividades que se desarrollan, tanto en esta función como en las otras, forman holarquías para alcanzar un objetivo particular, pero además dentro de ellas también se presentan distintas holarquías a medida que se requiere el desarrollo de determinada actividad. Por ejemplo un holón puede tener como objetivo realizar el conteo de productos y cumplir con el mismo, pero cuando es necesario realizar una reserva de productos, este holón entra a ser partícipe de una holarquía dentro de la cual debe seguir desarrollando sus actividades normales, pero en este caso con el objetivo de complementar la información necesaria para realizar la reserva. De esta forma en las distintas actividades existe una continua formación de holarquías.

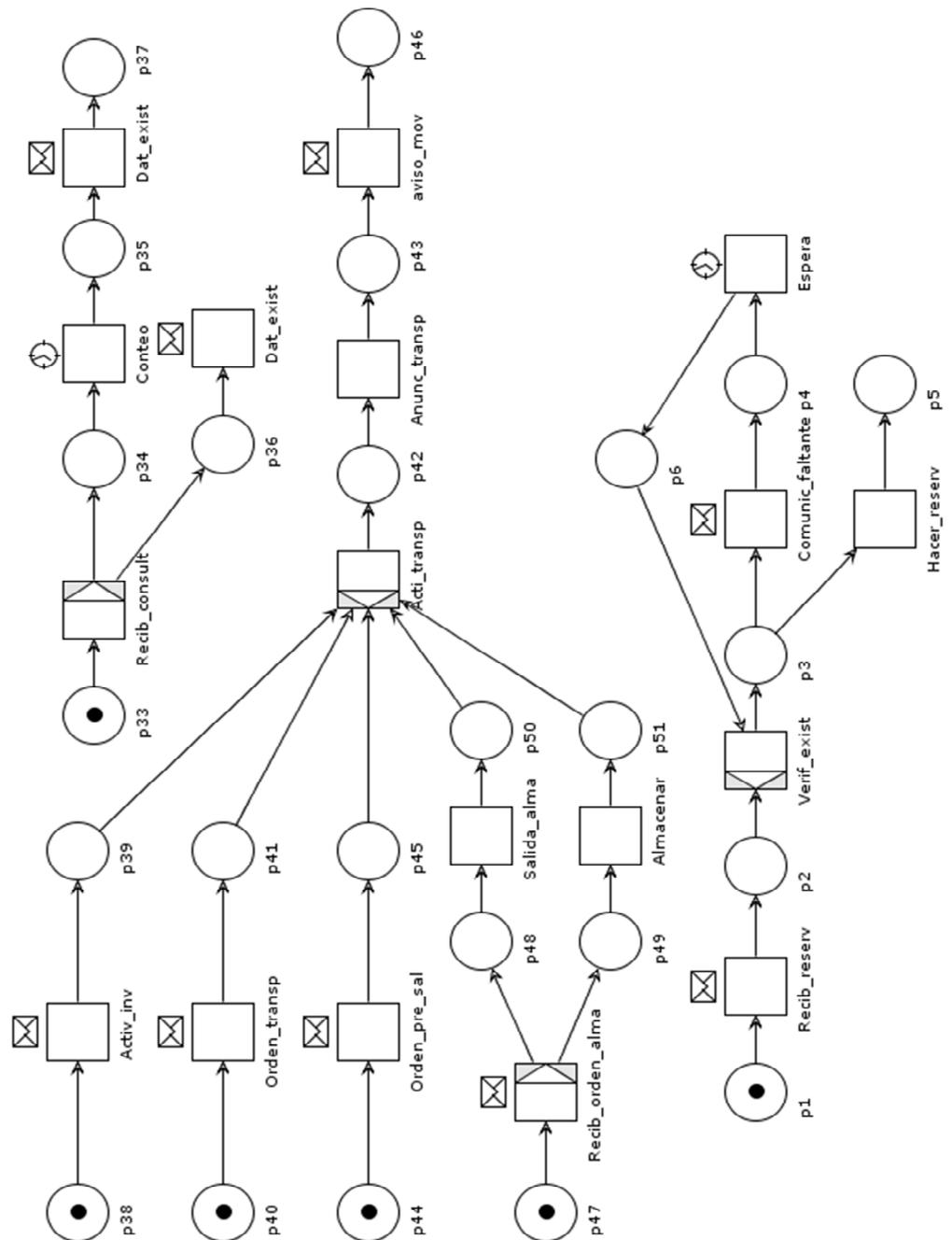
En las figuras 25 y 26 se aprecian los resultados obtenidos en el modelado de esta función y en la tabla 9 se indica la nomenclatura utilizada.

Figura 25. WF-Net de la función Control de Inventario de Producto (parte 1).



Fuente: propia, enero 2013.

Figura 26. WF-Net de la función Control de Inventario de Producto (parte 2).



Fuente: propia, enero 2013.

Tabla 9. Nomenclatura empleada en la WF-net de Control de Inventario de Producto.

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|---------------------|--|
| Rec_plan_emba | Recibir el plan de embalaje |
| Recib_ord_emba | Recibir orden de embalaje |
| Generar_emba | Generar el embalaje del producto final de acuerdo con la programación de entrega |
| Recib_certif | Recibir certificado que avala que el producto fue producido según condiciones de proceso estándares. |
| Env_liber_carga | Enviar anuncio de liberación de envío físico (carga) |
| Manejar_inv | Manejar inventarios |
| Report_inv | Reportar inventario de productos terminados |
| Balanc_costos | Realizar balance y perdidas de producto (costos) |
| Rep_bal_cost | Reportar balance y perdidas de producto (costos) |
| Balanc_perd | Realizar balance y perdidas de producto |
| Rep_bal | Reportar balance y perdidas de producto |
| Activ_inv | Recibir activación de Inventario |
| Orden_transp | Recibir orden de transporte |
| Orden_pre_sal | Recibir orden de preparación y salida de almacén |
| Acti_transp | Activar transporte |
| Anunc_transp | Anuncio de transporte |
| Aviso_mov | Aviso de movimientos de almacén |
| Recib_orden_alma | Recibir orden de almacén |
| Salida_alma | Salida de almacén de productos terminados |
| Almacenar | Almacenar productos terminados |
| Recib_reserv | Recibir reserva de productos terminados |
| Verif_exist | Verificar existencias de productos terminados |
| Hacer_reserv | Hacer reservaciones de productos terminados |
| Comunic_faltante | Comunicar faltantes |

5.3.3 Administración de Definiciones de Inventario (A):

Las definiciones de inventario corresponden a las reglas y la información asociadas con el movimiento y almacenamiento de materiales. Las reglas pueden ser ubicación específica, equipo específico, o material específico.

Este conjunto de actividades inicia con la recepción de definiciones de inventario y normas que pueden estar relacionadas con el producto a fabricar o con operaciones de inventario. Posteriormente, tanto las definiciones como las normas son evaluadas, las primeras para determinar si están bien para ser utilizadas o es necesario modificarlas y las segundas para establecer si es necesario algún cambio dentro de las definiciones a fin de satisfacer las normas o si en el estado actual son adecuadas.

Otra información empleada para complementar las definiciones se obtiene de las reservas o renuncia de productos y/o materiales. La primera se refiere a los

procedimientos que se deben llevar a cabo para reservar recursos según las órdenes que son aprobadas desde nivel 4, cuando es cancelada o aprobada una orden de compra por parte de un consumidor, y la segunda tiene relación con la renuncia que puede ser efectuada sobre los recursos que anteriormente ya habían sido reservados este tipo de solicitudes pueden ser tratadas directamente dentro de **Administración de Definiciones de Inventario** si se considera que los procedimientos que ya han sido activados para satisfacer tales órdenes no implican altos costos o el uso de demasiados recursos o por **Programación detallada de inventario** si se desea evitar el curso normal de los flujos para la creación de órdenes de trabajo. Para el primer caso las solicitudes son evaluadas y la información encontrada es utilizada para realizar posibles modificaciones a las definiciones de inventario.

Si las definiciones están bien se informan inmediatamente; si por el contrario requieren modificaciones se presentan diferentes casos que se indican a continuación:

- Agregar nuevas definiciones: se añaden nuevas definiciones a las evaluadas anteriormente
- Cambiar definiciones: Si algunas o incluso todas las definiciones están mal, no son claras, no son viables o no permiten continuar con las actividades de inventario; es necesario cambiarlas. Una vez realizados los cambios, estos deben ser aprobados adecuadamente y se debe hacer un seguimiento de los cambios. Este seguimiento puede reportarse mediante un informe.
- Optimizar definiciones: este caso se presenta si las definiciones están bien pero aún se pueden realizar optimizaciones. Se reciben resultados de pruebas de calidad y se analizan para determinar cómo optimizar las definiciones de inventario.

De igual manera administración de definiciones recibe las solicitudes de transporte desde nivel 4, estas son evaluadas con el fin de establecer si deben ser ejecutadas de forma inmediata o si pueden esperar. En el primer caso se recolecta la información relacionada con recursos útiles para el transporte que se deba efectuar, con ella se procede a crear órdenes de trabajo para cumplir las solicitudes (esta se lleva a cabo dentro de una sub rutina en la red); la información de recursos es evaluada para determinar la disponibilidad, ubicación y estado de los mismos, posteriormente es posible crear órdenes de transporte en las que se establecen cómo y con qué se ejecutarán las actividades. Finalmente dichas órdenes son asignadas y enviadas. La información relacionada con las actividades desarrolladas es archivada.

Si por el contrario las solicitudes de transporte pueden ser atendidas más lentamente, estas se añaden a las definiciones anteriormente recibidas y se procede con los pasos que siguen desde evaluación de definiciones.

Una vez se han realizado las modificaciones a las definiciones, se obtienen nuevas definiciones de inventario. Estas nuevas definiciones deben ser evaluadas para determinar si son correctas o es necesario modificarlas nuevamente. Esta segunda evaluación permite iterar el proceso tantas veces como sea necesario hasta que las definiciones sean adecuadas. Cuando se obtengan definiciones de inventario apropiadas se deben informar a las distintas actividades que las requieran, y al personal.

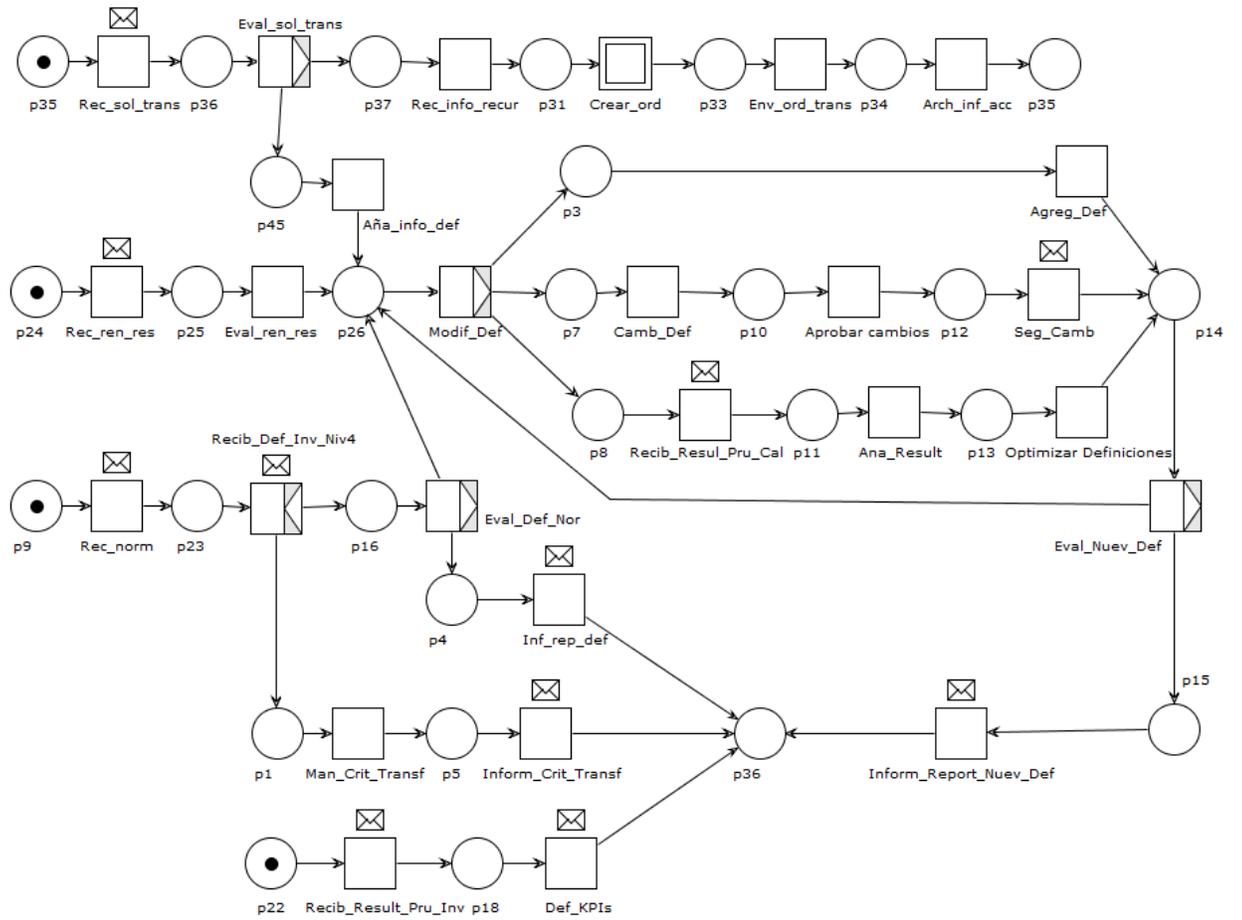
Otra de las operaciones que se realiza es el manejo de los criterios de transferencia. Esta actividad se refiere al manejo de las instrucciones y restricciones de transferencia y almacenamiento. Por ejemplo, puede haber instrucciones específicas sobre cómo manipular materiales tóxicos en sus transferencias, la forma en que se debe manejar la trazabilidad, o restricciones específicas de manipulación de sustancias controladas o reguladas.

También se realiza es la creación definiciones de KPIs con base en los resultados de las pruebas de inventario. Las pruebas de inventario se pueden realizar en diferentes periodos de tiempo. Un ejemplo de pruebas de inventario puede ser verificar existencias de determinado material.

Toda la información recolectada es enviada a las áreas que la necesiten o requieran.

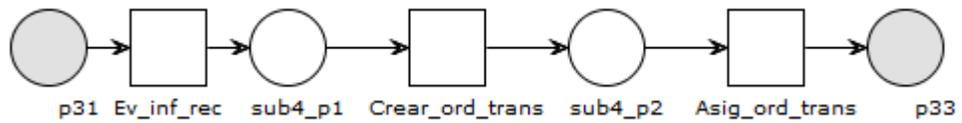
En las figuras 27 y 28 se observa la WF-Net de esta actividad y en la tabla 10 el significado de la nomenclatura empleada.

Figura 27. WF-Net para Administración de Definiciones de Inventario (parte 1)



Fuente: propia, enero de 2013

Figura 28. Subrutina crear orden para Administración de Definiciones de Inventario



Fuente: propia, enero 2013

Tabla 10. Nomenclatura empleada en la WF-Net de Administración de Definiciones de Inventario

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|------------------------|--|
| Recib_Def_Inv_Niv4 | Recibir definiciones de inventario |
| Rec_nor | Recibir normas relacionadas con producto y operaciones de inventario |
| Recib_Result_Pru_Inv | Recibir resultados de pruebas de inventario |
| Eval_Def_Nor | Evaluar definiciones y normas |
| Rec_sol_trans | Recibir solicitud de transporte |
| Eval_sol_trans | Evaluar solicitud de transporte |
| Rec_info_recur | Recolectar información de recursos |
| Crear_ord | Crear orden (sub rutina) |
| Ev_inf_rec | Evaluar información de recursos |
| Crear_ord_trans | Crear órdenes de transporte |
| Asig_ord_trans | Asignar ordenes de transporte |
| Env_ord_trans | Enviar órdenes de transporte |
| Arch_inf_acc | Archivar información de acciones realizadas |
| Aña_info_def | Añadir información a las definiciones |
| Rec_ren_res | Recibir renuncia y/o reserva de materiales y/o productos |
| Eval_ren_res | Evaluar renunciaciones y reservas recibidas |
| Modif_def | Modificar definiciones |
| Inform_Rep_Def | Informar reporte de definiciones |
| Agreg_Def | Agregar nuevas definiciones |
| Camb_Def | Cambiar definiciones |
| Seg_Camb | Seguimiento de cambios |
| Recib_Resul_Pru_Cal | Recibir resultados de pruebas de calidad |
| Ana_Result | Analizar resultados |
| Eval_Nuev_Def | Evaluar nuevas definiciones |
| Man_Crit_Transf | Manejo de criterios de transferencia |
| Inform_Crit_Transf | Informar criterios de transferencia |
| Inform_Report_Nuev_Def | Informar reporte de nuevas definiciones |
| Def_KPIs | Definiciones de KPIs |

5.4.4 Despacho de Inventario (D)

El despacho de inventarios se define como el conjunto de actividades que asignan y envían órdenes de trabajo de inventario hacia recursos de inventario apropiados como se identificó por el plan de inventarios y las definiciones de inventario. Como se puede observar para llevar a cabo esta actividad se presentan relaciones con otras actividades, estas se ven evidenciadas en la solicitud de información que se puede hacer por parte de despacho.

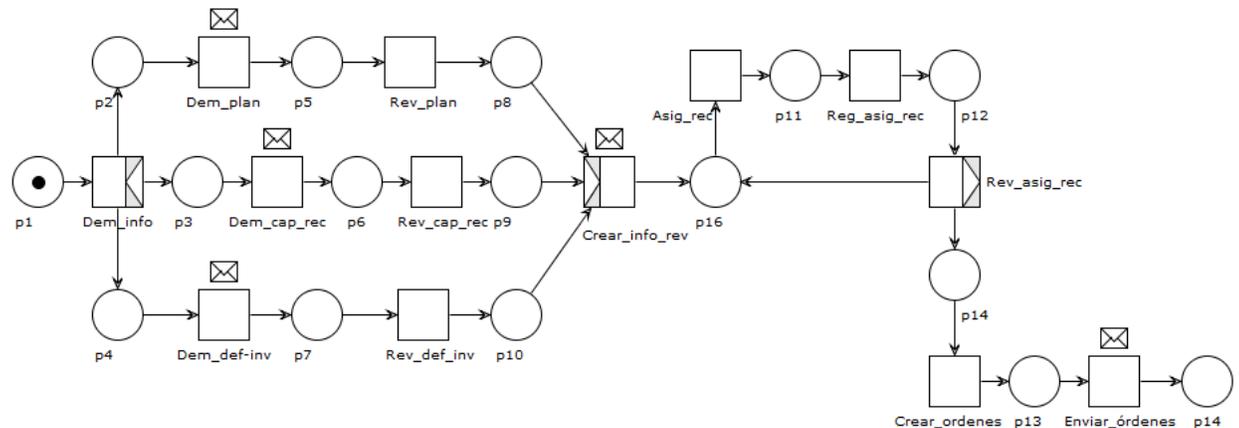
Para empezar se realiza una demanda de información, esta debe incluir el plan detallado de inventario, la capacidad y disponibilidad de recursos y la definición de inventario, posteriormente la información que es enviada se revisa, para

determinar cuáles son las órdenes de trabajo que han sido definidas, dentro de las que se incluyen activaciones de inventario, órdenes de almacén, órdenes de transporte, entre otras; verificar la disponibilidad actual de recursos, las restricciones, instrucciones y rutas detalladas de movimiento para los diferentes materiales y/o productos.

Posteriormente se crea un informe que contiene información relacionada con el despacho. Luego los recursos que se relacionaron en el plan detallado de inventario son asignados a los puestos de trabajo pertinentes. Dentro de las actividades contempladas en el despacho de inventario se considera que este puede realizar asignaciones que no han sido contempladas dentro del plan detallado de inventario, para esto se lleva a cabo una revisión de las asignaciones hechas, si dentro de estas no se ha tenido en cuenta algún recurso necesario para cumplir con los requerimientos, se procede a crear dicha asignación, este ciclo se repite hasta que todas las asignaciones estén completas. En este punto se crean las órdenes de trabajo y posteriormente se envían las listas de despacho para ser ejecutadas.

La figura 29 muestra la WF-Net obtenida para esta función y en la tabla 11 se encuentra el significado de la nomenclatura empleada.

Figura 29.WF-Net de Despacho de inventario (D)



Fuente: propia, enero 2013

Tabla 11. Significado y nomenclatura para la red de Petri de Despacho de Inventario

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|--------------|--|
| Dem_info | Demandar información |
| Dem_plan | Demandar plan de inventario |
| Rev_plan | Revisar plan de inventario |
| Dem_cap_rec | Demandar información de capacidad y disponibilidad de recursos |
| Rev_info_rec | Revisar información de capacidad y disponibilidad de recursos |

Tabla 11. (Continuación)

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|---------------------|--|
| Dem_def_inv | Demandar definición de inventario |
| Rev_def_inv | Revisar definiciones de inventario |
| Crear_info_rev | Crear informe de la información revisada |
| Asig_rec | Asignar recursos |
| Rev_asig_rec | Revisar asignación de recursos |
| Crear_ordenes | Crear órdenes de trabajo |
| Enviar_ordenes | Enviar órdenes de trabajo hacia recursos de inventario |

5.2 MODELADO EN WF-Nets PARA LAS HOLARQUÍAS DE INVENTARIO

A continuación se presenta la descripción de las redes de petri elaboradas para algunas de las holarquías que pueden tener relación con Inventario.

5.2.1 Proceso de surtido de inventario

Dentro de esta holarquía se aprovechan los holones pertenecientes a *Despacho de Inventario*, *Adquisición* y *Programación Detallada de Inventario*. Para empezar se debe establecer qué tipo de surtido se debe realizar, este puede ser programado, recolectado o por pedido.

Para el primer caso se evalúa la información que ha sido almacenada con anterioridad (pedidos anteriores, requerimientos a largo plazo, estadísticas, etc.) y también es necesario recibir requerimientos de materiales y energía a largo plazo que son almacenadas para posteriores adquisiciones.

En el segundo caso se solicita información relacionada con el estado actual de los recursos, bien sea desde Control de material y energía (que maneja la información de tales elementos) o desde Administración de Recursos de Inventario (que puede tener información de equipos, herramientas o materiales). Una vez esta información es recibida se analiza y se separan los datos relevantes como cantidades existentes.

Para el tercer caso se recibe un requerimiento directo desde los puestos de trabajo que soliciten un abastecimiento rápido de materiales.

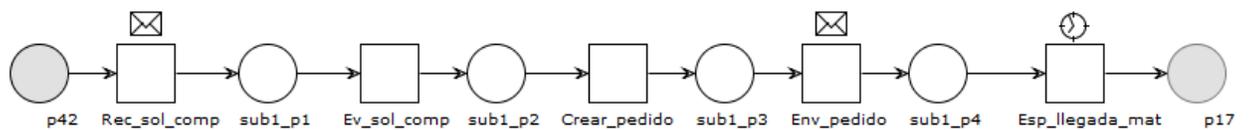
Finalmente una vez se cuenta con alguno de los tipos de pedido para surtir se determina la cantidad, tamaño y demás características necesarias, tanto de materiales como de equipos y herramientas. Posteriormente se crea una orden de compra y esta es enviada al área correspondiente para iniciar la adquisición. Este proceso no se abarca de forma profunda pues corresponde a un área externa a inventario los procesos que se considera se pueden llevar a cabo son la recepción

de la orden de compra que es evaluada para establecer los elementos a adquirir y por ende los proveedores adecuados para solicitarlos, luego se crea el pedido y se envía al vendedor deseado, aquí se realiza la espera pertinente para la recepción de mercancías.

Cuando los materiales, equipos y herramientas han sido adquiridos, estos son recibidos y de forma inmediata se envía una solicitud para realizar pruebas de calidad sobre los elementos, en este punto se espera determinado tiempo hasta que se obtiene un rechazo o una autorización. Si se rechaza, esta se devuelve hacia los proveedores y si se aprueba se continúa con la recepción de la ruta detallada de inventario. A partir de este momento se inician dos procesos simultáneos. En el primero la ruta es revisada para establecer los “camino” que pueden o no ser utilizados para la disposición de los elementos recibidos, también se reciben las definiciones de inventario que son evaluadas con el fin de determinar el personal o equipos que se están empleando en la actual ejecución de las tareas dentro de inventario. El segundo proceso permite el registro de los datos de los materiales, equipos y herramientas (fecha, hora, encargado de recibir, cantidad, etc.), dependiendo del tipo de elemento se determina la ubicación que este tendrá.

Con la anterior información establecida se procede a determinar la ruta y el personal y/o equipos que serán empleados para el transporte y ubicación de los elementos antes recibidos. Además se asignan las órdenes de trabajo correspondientes y se supervisa el progreso de las mismas. Finalmente cada una de las acciones que se desarrollaron son registradas para elaborar un informe que es enviado al área que lo necesite o solicite.

Figura 31. Subrutina de compra para la holarquía del proceso de surtido



Fuente: propia, enero 2013

Tabla 12. Significado y nomenclatura para la red de petri de la holarquía Proceso de surtido de inventario

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|-------------------|---|
| Det_tip_ped | Determinar tipo de pedido |
| Ev_inf_alm | Evaluar información almacenada |
| Rec_req_largo | Recibir requerimientos de compra de materiales y energía a largo plazo |
| Sol_inf_rec | Solicitar información relacionada con el estado de recursos |
| Rec_inf_Adm | Recibir informe de estado actual de recursos desde ARI |
| Rec_inf_Con | Recibir informe de estado actual de recursos desde CMI |
| An_inf_rec | Analizar información recibida |
| Rec_req_mat_pu | Recibir requerimientos de materiales y energía desde los puestos de trabajo |
| Det_mat_en_her_eq | Determinar materiales, energía, herramientas y equipos a ser adquiridos |
| Crear_sol_com | Crear solicitud de compra |
| Env_sol_comp | Enviar solicitud de compra |
| Rec_sol_comp | Recibir solicitud de compra |
| Ev_sol_comp | Evaluar solicitud de compra |
| Crear_pedido | Crear pedido |
| Env_pedido | Enviar pedido |
| Esp_llegada_mat | Esperar llegada de materiales |
| Rec_mat_eq | Recibir material, equipos y herramientas adquiridas |
| Sol_prue_cal | Solicitar prueba de calidad sobre materiales |
| Esp_rta_cal | Esperar respuesta de calidad |
| Rec_aut_mer | Recibir autorización de mercancías |
| Rec_rut_det | Recibir ruta detallada de inventario |
| Rev_rut_det | Revisar ruta detallada de inventario |
| Sol_def_inv | Solicitar definiciones de inventario |
| Rec_def_inv | Recibir definiciones de inventario |
| Rev_def_inv | Revisar definiciones de inventario |

Tabla 12. (Continuación)

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|----------------------|--|
| Reg_dat_mat_her_eq | Registrar datos de materiales, herramientas y equipos recibidos |
| Det_lug_ub_mat | Determinar lugar de ubicación de materiales |
| Det_lug_ub_eq_he | Determinar lugar de ubicación de equipos y herramientas |
| Det_rut_ub_eq_mat_he | Determinar ruta de ubicación de equipos, materiales y herramientas |
| Det_per_eq | Determinar personal o equipo encargado del traslado |
| Act_tran | Activar transporte |
| Asig_ord_trab | Asignar orden de trabajo |
| Ejec_ord_trab | Ejecutar orden de trabajo |
| Sup_prog_ord | Supervisar progreso de la orden de trabajo |
| Crear_inf_sur | Crear informe del proceso de surtido realizado |
| Env_inf_sur | Enviar informe de surtido |

5.2.2 Programa detallado de inventario

Esta es una holarquía que abarca todas las actividades de inventario en las que se realizan las 18 funciones que han sido expuestas a lo largo del trabajo. Por lo tanto los procesos inician con una solicitud de inventario, que puede ser para almacenar inventarios, disponer materiales en puestos de trabajo, transportar productos terminados, etc. Esta solicitud es analizada, pues si bien se considera que siempre se dará una respuesta positiva al cumplimiento de la misma, se debe determinar si es suficiente con los recursos que se cuentan en ese instante dentro de Inventario para darle cumplimiento o se deben generar nuevas definiciones que permitan la adquisición o modificación de recursos.

El anterior análisis se realiza en el mismo momento en que se analizan las definiciones recibidas desde nivel 4. Así si se crean nuevas definiciones o simplemente continuar con el envío de las definiciones originales, esto se realiza al mismo tiempo que se envía la ruta detallada de inventario. Dicha información es recibida en la actividad pertinente (*Administración de Recursos de Inventario*) que al mismo tiempo envía la información de capacidad de los recursos de inventario, que se recibe en *Programación Detallada de Inventario* para permitirle a esta función establecer la asignación de recursos. También se crea el plan detallado de inventario que es enviado hacia despacho, donde se realiza la asignación de órdenes de trabajo (activaciones de transporte, almacenamientos, adquisiciones, etc.) y se envía la lista de despacho para así iniciar la ejecución de las diferentes tareas.

A lo largo de la ejecución de las diferentes actividades se recolecta información sobre las mismas, esta es analizada para conocer los inconvenientes o en general el progreso de los procesos dentro de la UI. Los resultados del análisis y en general toda la información son almacenados y enviados a las actividades que los

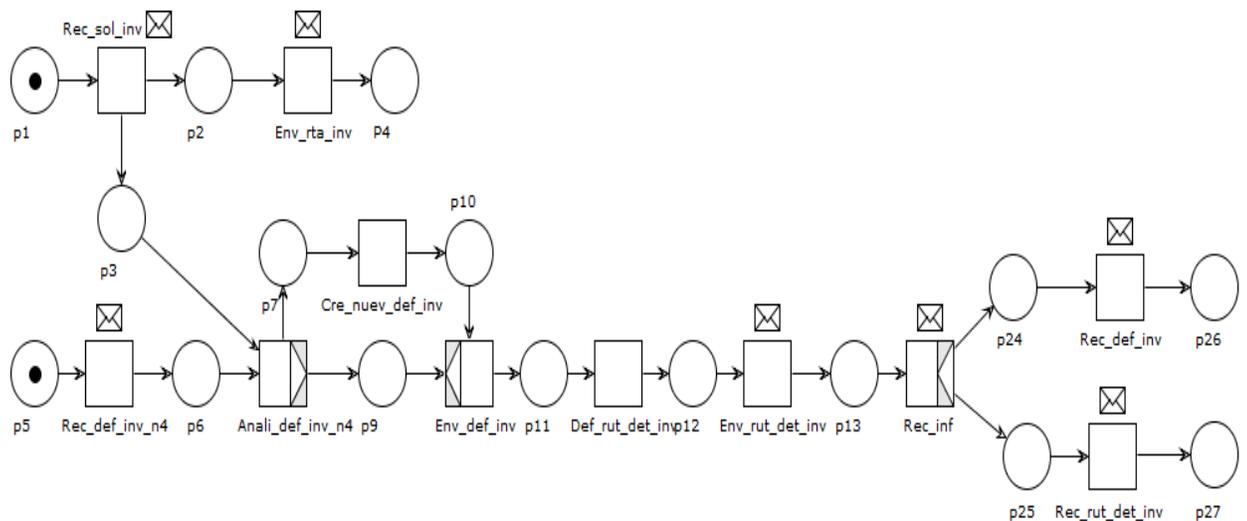
requieran. Gracias a estos resultados se pueden elaborar los indicadores de inventario que permiten realizar un análisis sobre el funcionamiento de las actividades a lo largo del tiempo.

De esta forma se da fin a las actividades, sin que esto implique que se detienen los trabajos, pues en la UI se llevan a cabo procesos de forma cíclica para contribuir a la satisfacción de las necesidades de la empresa.

Cabe resaltar que en la anterior explicación no se han descrito las actividades de forma profunda pues esto sería redundar en información que ha sido abordada en cada una de las 18 funciones.

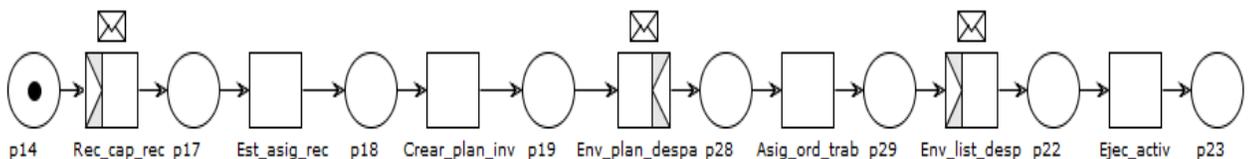
En las figuras 32 a la 34 se observa la WF-Net obtenida para esta holarquía y la tabla 13 contiene el significado de la nomenclatura empleada en ella.

Figura 32. WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 1)



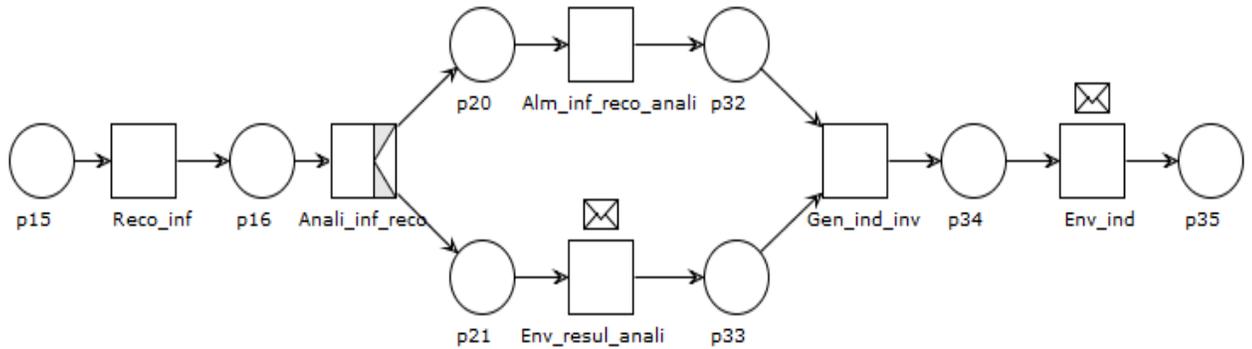
Fuente: propia, enero 2013

Figura 33. WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 2)



Fuente: propia, enero 2013

Figura 34.WF-Net para la holarquía Programa detallado de Inventario (parte 3)



Fuente: propia, enero 2013

Tabla 13. Significado y nomenclatura para la red de petri de la holarquía Programa detallado de Inventario

| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|--------------------|--|
| Rec_sol_inv | Recibir solicitud de inventario |
| Anali_sol_inv | Analizar solicitud de inventario |
| Env_rta_inv | Enviar respuesta de inventario |
| Rec_def_inv_n4 | Recibir definiciones de inventario desde nivel 4 |
| Anali_def_inv | Analizar definiciones de inventario |
| Cre_nuev_def_inv | Crear nuevas definiciones de inventario |
| Env_def_inv | Enviar definiciones de inventario |
| Def_rut_det_inv | Definir ruta detallada de inventario |
| Env_rut_det_inv | Enviar ruta detallada de inventario |
| Rec_inf | Recibir información |
| Rec_def_inv | Recibir definiciones de inventario |
| Rec_rut_det_inv | Recibir ruta detallada de inventario |
| Rec_cap_rec | Recibir estado de recursos |
| Est_asig_rec | Establecer asignación de recursos |
| Crear_plan_inv | Crear programa de inventario |
| Env_prog_desp | Enviar programa a despacho |
| Asig_ord_trab | Asignar órdenes de trabajo |
| Env_list_desp | Enviar lista de despacho |
| Ejec_activ | Ejecutar actividades |
| Reco_inf | Recolectar información |
| Anali_inf_reco | Analizar información recolectada |
| Alm_inf_reco_anali | Almacenar información recolectada y almacenada |
| Env_resul_anali | Enviar resultados del análisis |

Tabla 13. (Continuación)

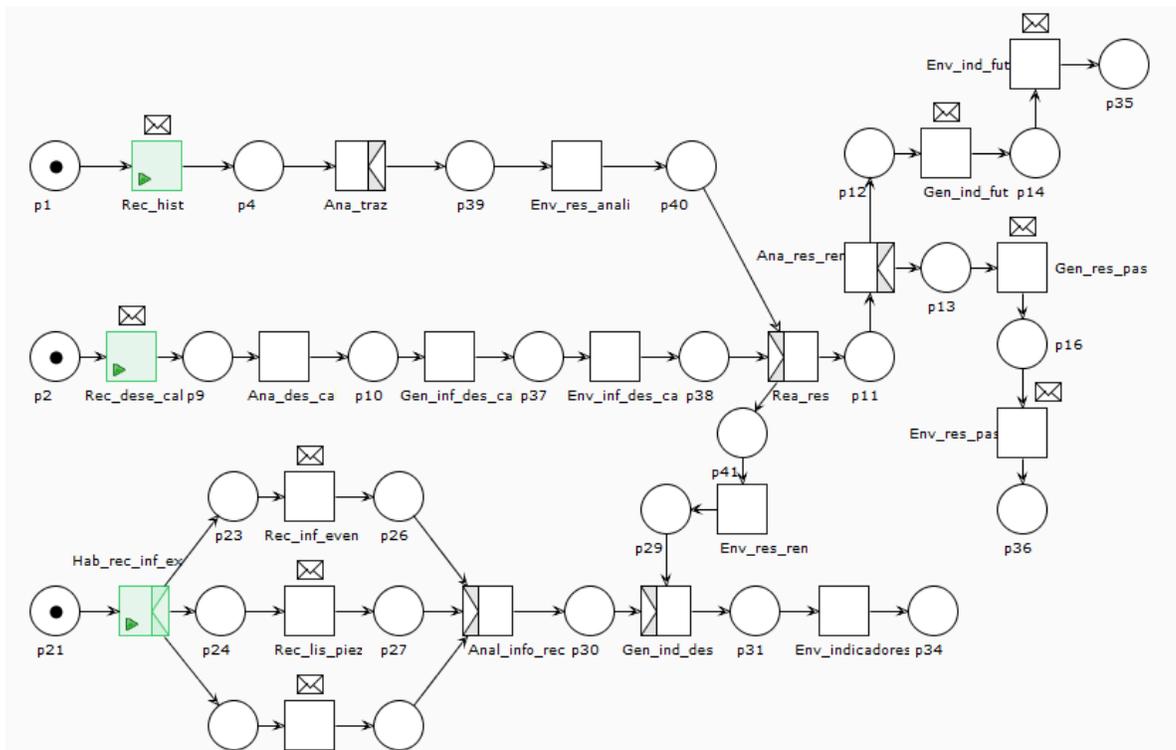
| NOMENCLATURA | SIGNIFICADO |
|--------------|-----------------------------------|
| Gen_ind_inv | Generar indicadores de inventario |
| Env_ind | Enviar indicadores |

5.3 VALIDACIÓN DE WF-NETS

Después de describir las distintas WF-Nets que se abordaron, era necesario determinar si estas no presentaban bloqueos que indicaran que la ejecución de las actividades no era viable, para esto se realizó la validación de cada una de ellas.

Existen diferentes formas de validar este tipo de redes, entre ellas se encuentran los árboles de alcanzabilidad, las ecuaciones matriciales y la simulación; los resultados de este documento se obtuvieron gracias a este último método que se desarrolló a través del software libre WOPED versión 2.6.0.

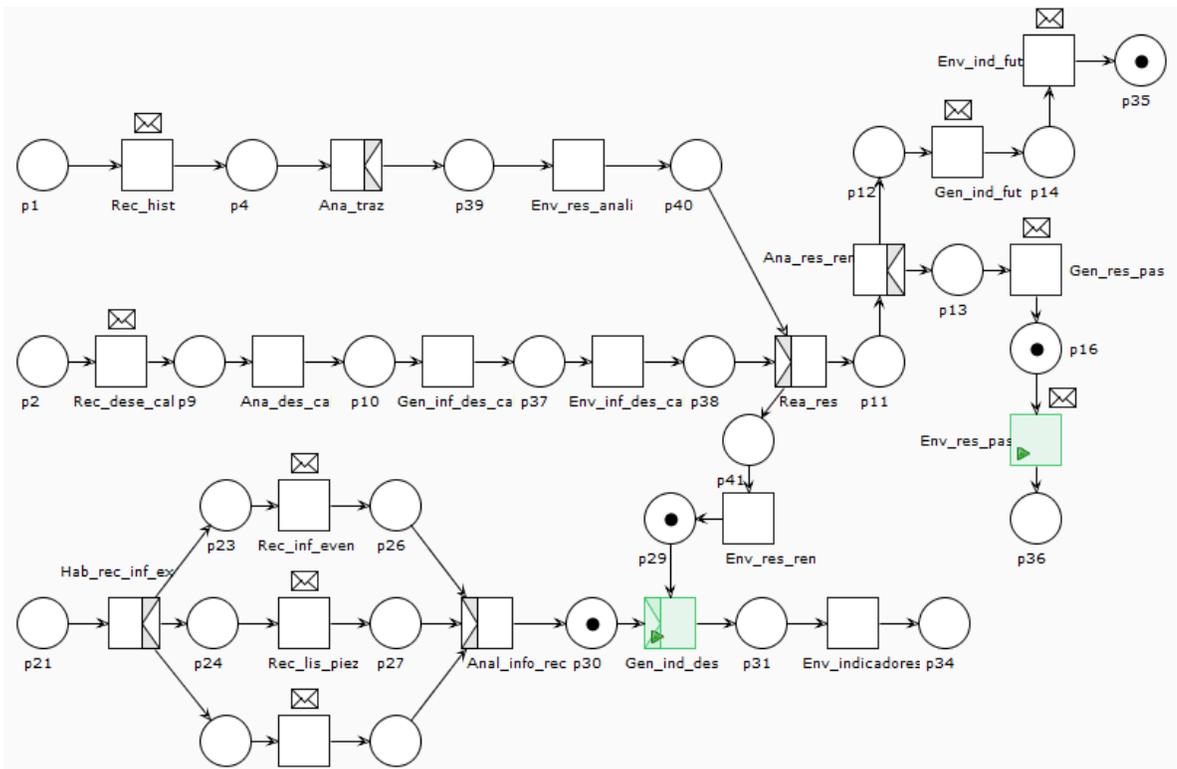
Figura 35. Validación de la WF-Net de Análisis de Inventario



Fuente: propia, enero 2013

En la figura 35 se aprecia el inicio de una de las simulaciones en la cual las distintas actividades son activadas (cuadrados verdes) gracias a los tokens. Posteriormente, como se observa en la figura 36, a medida que se accionan las distintas actividades avanza la ejecución de las mismas, hasta obtener el resultado esperado con cada una de ellas sin ningún tipo de bloqueo o punto muerto.

Figura 36. Validación de la WF-Net de Análisis de Inventario



Fuente: propia, enero 2013

Por medio del software se evidencia que cada una de las redes tenía definidas adecuadamente las actividades y también los diferentes tokens, con esto se garantiza que ninguna de las redes está muerta y por ende no se presentarán inconvenientes.

5.4 CARACTERÍSTICAS HOLÓNICAS EN LOS MODELOS DINÁMICOS

Los diferentes modelos obtenidos a lo largo del presente capítulo permiten reflejar propiedades de los sistemas holónicos que se indican a continuación:

- **Autonomía:** los diferentes holones que hacen parte de cada holarquía (funciones) y en sí de la UI constantemente verifican el estado en el cumplimiento de sus objetivos a través de acciones como verificación en la información recibida, que es utilizada en el desarrollo sus funciones, con base en esta son capaces de tomar decisiones que les permitan alcanzar sus metas
- **Reactividad:** como se aprecia en la figura 24 cada una de las holarquías cuenta con un ciclo de control interno que brinda la posibilidad de reaccionar ante aquellos cambios dentro de los procesos que impiden el cumplimiento de los objetivos, este ciclo garantiza que a través de soluciones internas o en colaboración con otras holarquías se puede lograr la culminación satisfactoria de las actividades.
- **Cooperación:** esta es una propiedad que se puede ver a lo largo de las holarquías definidas, en ellas holones pertenecientes a diferentes funciones llevan a cabo actividades que no afectan el cumplimiento de sus objetivos y que a cambio contribuyen al logro de las metas de la UI e incluso de otras Unidades de Producción.
- **Re organización:** en el tiempo se pueden ejecutar diferentes trabajos que requieren la formación de holarquías temporales, que como se ha mencionado, se crean fácilmente gracias a la participación de diferentes holones que buscan un objetivo común sin que este afecta sus propias metas. Si bien a lo largo de la tesis solo se ha trabajado con cinco holarquías esto no implica que las labores dentro de la UI o en otras UP no propicien la creación de nuevas relaciones entre los holones definidos, ellos siempre estarán dispuestos a actuar en diferentes holarquías.
- **Benevolencia:** como se ha mencionado los holones son capaces de cooperar en diferentes holarquías, como sucede con aquellos pertenecientes a *Despacho de Inventario* o *Programación detallada de inventario*, cuando identifican que sus objetivos no serán incumplidos y que pueden contribuir a la ejecución de otras labores.
- **Habilidad social:** esta propiedad se evidencia en la comunicación que existe entre los holones durante la ejecución de sus tareas, por ejemplo, cuando se presenta algún tipo de perturbación que no puede ser solucionada internamente, se comunica dicho inconveniente a otros holones para que ellos entren a colaborar resolviéndolo. Además algunos trabajos requieren de la coordinación entre diferentes holones, esto se evidencia en las esperas que se realizan cuando se solicitan pruebas de calidad sobre materiales y es necesario aguardar hasta que dentro de la UP de calidad se efectúan dichas pruebas y se envía un resultado que aprueba su uso. Lo

anterior también se puede apreciar con la UP de mantenimiento o incluso con la de producción.

6. MÉTODO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE INVENTARIO - CASO DE ESTUDIO EMPAQUES DEL CAUCA S.A.

Método para la Administración de Operaciones de Inventario

1. Identificación de requerimiento. (objetivo -> ¿qué hay que hacer?)

Los requerimientos son las características que se desean alcanzar o una necesidad que requiere una solución. Responde a la pregunta ¿Qué se debe hacer? Y es algo que el sistema debe hacer o una cualidad que el sistema debe poseer.

Para iniciar el proceso de Administración de Operaciones de Inventario es necesario tener en cuenta qué problemas se desean solucionar y cómo estas soluciones contribuyen a la optimización de los procesos dentro de la empresa. Para ello se puede hacer:

- Identificación de requerimiento(s)
- Priorizarlos
- Documentación del alcance del proceso. Con esto se puede establecer y dejar constancia de cuales requerimientos lograrán cumplirse y bajo qué características.

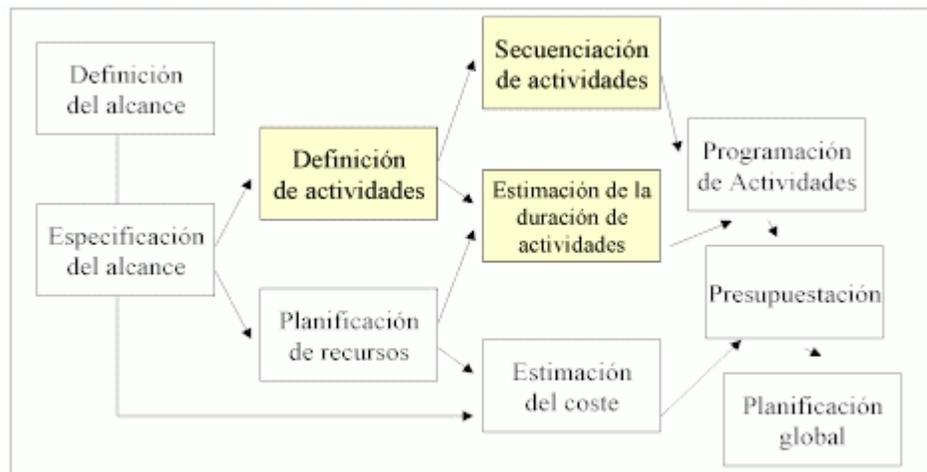
2. Planeación del proceso a seguir.

Para desarrollar cualquier proceso de automatización es importante realizar algún tipo de planeación con el fin de organizar y ordenar adecuadamente el curso de acción. Incluye plantear una estrategia de ejecución y asignación de tareas o responsabilidades al tiempo que una estimación del tiempo necesario para llevarlas a cabo. Los aspectos que se tienen en cuenta son:

- Organización del grupo de trabajo: la aplicación del método requiere la conformación previa de un grupo de trabajo multidisciplinario encargado de llevar a cabo las diferentes actividades que ella describe [37].
- Definir los recursos: la definición de los mismos se realiza con base en los objetivos que se desean alcanzar.
- Determinar costos de realización
- Estimar un tiempo de desarrollo o aplicación.

- Re planificación: a medida que se desarrollan las actividades pueden surgir inconvenientes que no habían sido contemplados (o sí) y que pueden implicar la reasignación de recursos, o el cambio de horarios de trabajo, entre otras. Si bien puede que no se hayan considerado en su totalidad se debe contar con un posible plan de acción que permite solucionar los imprevistos o tener disponible la posibilidad de realizar cambios rápidos en los planes una vez en caso de presentarse fallas.

Figura 37. Procesos básicos para la planificación



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos34/proyecto-planificacion/proyecto-planificacion.shtml>

3. Familiarización con el estándar ISA 95 y los modelos planteados.

Con el fin de obtener los mejores resultados y optimizar el tiempo en la ejecución del método para la administración de inventario. Se recomienda que el o los encargados de la aplicación del método se familiaricen previamente con el estándar ISA 95 y con los modelos genéricos planteados (modelos estructurales y dinámicos propuestos a lo largo del presente trabajo).

Principalmente, se sugiere un conocimiento previo sobre el Modelo de Flujos de Datos Funcional (11) y el Modelo de Administración de Operaciones de Inventario (10). Esto con el fin de conocer algunos conceptos que se manejan y partir de una base de términos común.

Conocer el concepto CIM y familiarizarse con la noción de ámbitos funcionales para lograr identificarlos claramente y facilitar los procesos de clasificación.

4. Recolección de información (técnicas de recolección de información)

La recolección de información es una etapa crucial en el proceso ya que el éxito o fracaso de cualquier proceso de automatización depende en gran medida de la información útil del proceso con la que se cuenta.

Es importante recolectar información valiosa, evitando redundar u omitir aspectos importantes. Es común obtener datos de poco valor cuando no se tiene claro que tipo de información se solicita

En este punto es necesario tener en cuenta las **técnicas de recolección de información**. Estas son todas las formas posibles de las que se vale el investigador para obtener la información necesaria en el proceso investigativo. Hace relación al procedimiento, condiciones y lugar de recolección de datos, dependiendo de las distintas fuentes de información tanto primaria como secundaria.

- Fuentes de información primaria: se obtiene información por contacto directo con el sujeto de estudio
- Fuente de información secundaria: se recoge a partir de investigaciones realizadas con anterioridad, por lo general se hace a partir de documentos, registros, bases de datos, etc.

Como primera medida se deben considerar los objetivos y requerimientos que han sido definidos previamente para tener clara la información a la cual se desea tener acceso y que fuentes son las más adecuadas para proporcionarla.

Posteriormente se debe establecer cómo se recolectará la información antes definida y para esto es necesario elegir una técnica de recolección de información. En el desarrollo de un proyecto se suelen utilizar dos técnicas para la recolección de información:

- Observación: registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignando los datos de acuerdo con algún esquema previsto y de acuerdo al problema que se estudia.
- Encuesta: la información es obtenida a través de una entrevista o cuestionario a personas que estén relacionadas con el tema de estudio y que por lo tanto pueden dar opiniones, conocimientos, etc. La entrevista permite una comunicación interpersonal a fin de obtener respuestas verbales, entre las respuestas obtenidas a través de un cuestionario dependen de preguntas escritas.

Teniendo en cuenta la orientación de las tareas a realizar se considera pertinente emplear la observación y la entrevista, pues los cuestionarios son más utilizados

cuando se desea recolectar información de un amplio número de personas con respecto a un tema particular. En este caso es importante tener más acceso a conocimiento de personal, archivos de equipos y también observación de los procesos propiamente dichos.

5. Análisis de información

Una vez se ha recolectado la información esencial del área de inventario, es de vital importancia realizar un buen análisis de la misma. Mediante este paso se logra comprender y organizar los datos e información encontrada; se obtiene ideas claras de las diferentes fuentes y se elimina la ambigüedad.

Como resultado del análisis de la información obtenida se debe obtener como mínimo el conocimiento de la situación actual de la empresa en el área de Inventario. Que funciones se realizan y cuales aún no se encuentran implementadas, los flujos de información que se utilizan, cuáles deberían estar implementados para optimizar los procesos de Inventario y cuales no son necesarios o se encuentran mal definidos.

5.1. Reconocimiento de funciones de Inventario:

Reconocer las actividades que se realizan; identificando las funciones de Inventario. Una forma práctica de organizarlas es mediante una tabla como la de la figura 36. Para ello se tiene en cuenta las funciones definidas por el estándar ISA 95 en el modelo de Flujo de Datos Funcional y el modelo de Administración de Operaciones de Inventario. El código es opcional, pero se recomienda para tener un mejor orden y para poder referirse a las funciones de forma rápida y organizada.

Para la clasificación se deben tener en cuenta:

- Identificar funciones y sub-funciones que tengan una correspondencia directa con las que se identificaron de manera general durante el desarrollo de este trabajo; las cuales se pueden consultar en las tablas del anexo B.
- Identificar sub-funciones que no tienen una correspondencia directa con las que se encuentran en el modelo de Flujo de Datos Funcional y el AOI (tablas anexo B); pero que por sus características o forma de realización pueden ser clasificadas fácilmente dentro de una de las funciones.
- Determinar que funciones y sub-funciones de los modelos no se encuentran implementadas dentro de la organización. Esta parte es muy importante porque es un paso inicial para implementar nuevas funciones dentro de la empresa que se encuentran en el estándar ISA 95 y es una información clave en la toma de decisiones porque indica que actividades pueden ser

incluidas u optimizadas dentro del dominio de Inventario. Es aquí donde se empiezan a proponer proceso de automatización.

- Reconocer las actividades que se realizan en la organización que no están incluidas o contempladas dentro del trabajo desarrollado.

Figura 38.Formato de tabla para organizar las funciones identificadas.

| FUNCIONES | | SUB-FUNCIONES | | AMBITOS |
|-----------|---------|---------------|-------------|---------|
| Cód. | Función | Cód. | Sub-función | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Fuente: propia, enero 2013

5.2. Identificación y clasificación de los flujos de información:

Una vez identificadas la funciones y sub-funciones que se realizan dentro de la organización y las que no, se inicia el proceso de identificación y clasificación de los flujos de información. Se deben tener en cuenta los flujos de información que guardan relaciones directas e indirectas con las funciones de Inventario. Es importante identificar las interfaces de los flujos de información. Una forma fácil de estructurar los flujos de información es a través de una tabla como la que se muestra en la figura 37.

Para reconocer y organizar los flujos de información de debe tener en cuenta:

- Identificar los flujos de información que tienen correspondencia con los que se encuentran estructurados en las tablas del Anexo B.
- Reconocer los flujos de información que no corresponden en su totalidad a los que se encuentran consignados en las tablas del anexo B pero que en su concepto o en su utilidad cumplen una funcionalidad o propósito similar.
- Identificar los flujos de información consignados en los modelos que no se encuentran implementadas dentro de la organización.

- Determinar cuáles son los flujos de información que se tienen en la organización que no se encuentran contemplados en el desarrollo del presente trabajo. Se debe analizar la utilidad de estos flujos de información y cuál es su propósito, esto permitirá decidir sobre la conveniencia de seguir trabajando con ellos o tomar alguna medida como: eliminarlos, cambiarlos, incluirlos en otro flujo, etc.

Figura 39.Formato de tabla para organizar los flujos de información identificados.

| Interfaz | | Contenido de datos | |
|-----------|---|--------------------|--|
| Función n | → | Función a | |
| | ← | | |
| | → | Función b | |
| Función m | → | Función c | |
| | ← | Función d | |

Fuente: propia, enero 2012.

6. Elaborar los modelos

Una vez se han identificado, dentro de la organización, las funciones, sub-funciones y flujos de información, se pueden especificar de manera particular los modelos estructurales y dinámicos de las operaciones de Inventario propuestos en el presente trabajo.

Las funciones, sub-funciones y flujos de información identificados que tiene correspondencia con las tablas del anexo B se pueden modelar rápidamente utilizando los diagramas de clases propuestos, así como los IDEF0 y las redes desarrolladas para cada uno de ellos.

Las tareas que se realizan dentro de la organización que no están contempladas en el presente trabajo requieren un proceso diferente. Para estas actividades es necesario realizar un modelado particular ya que, dependerán de los factores y situaciones particulares de cada empresa.

APLICACIÓN DEL MÉTODO A UN CASO DE ESTUDIO

Una vez definido el método fue posible realizar la aplicación del mismo en la empresa Empaques del Cauca S.A.; dentro de esta se logró identificar la ejecución de actividades en las que además se presentaban distintos flujos de información.

Después de recolectar la información y hacer el análisis de la misma se identificó el grado de cumplimiento existente entre las tareas de la empresa y las funciones y sub funciones planteadas a lo largo del trabajo. Con esto fue posible iniciar el modelado de las distintas actividades, en él se describió claramente la ejecución de tareas y el manejo de información y también se consignaron recomendaciones que pueden contribuir a la optimización del proceso de gestión de inventarios dentro de la empresa.

A lo largo del proceso de aplicación fue posible evidenciar la correspondencia entre las distintas actividades ejecutadas, que dentro de la empresa no se tienen claramente identificadas, y los modelos planteados, evidenciando así que estos pueden ser aplicados con facilidad y claridad; y que además existe coherencia en la definición de los mismos. Las anteriores características también se relacionan con la oportunidad presentada por parte de Empaques del Cauca S.A, pues dentro de las instalaciones fue posible recolectar mucha información que fue valiosa para la ejecución de esta última fase.

En el **Anexo E** se encuentra la aplicación de los modelos obtenidos gracias a la información suministrada por la empresa.

Una vez concluida la aplicación de los modelos fue posible entregar a la empresa caso de estudio un informe dentro del cual se explicaban los resultados obtenidos y se hizo un compendio de las diferentes recomendaciones. De esta forma se pudo constatar que en la actualidad se llevan a cabo procesos que buscan optimizar tareas del área de inventario con lo cual se concluye que el análisis suministrado contribuye a tal labor y sirve como apoyo y guía para la ejecución de los nuevos planes de mejoramiento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del desarrollo de este proyecto puede concluirse que:

A través de los modelos de Flujo de Datos Funcional y de Administración de Operaciones de Inventario se establecieron las funciones involucradas con las actividades de inventario. Dentro de ellas fue posible delimitar aquellas que no tienen una participación totalmente activa en el desarrollo de actividades de inventario pero que guardan relaciones importantes en el cumplimiento de objetivos globales de la empresa.

Tener en cuenta ambos modelos fue de gran importancia porque a través del modelo AOI es posible obtener las funciones relacionadas con el movimiento y almacenamiento de material y con el Modelo de Flujo de Datos Funcional se obtiene actividades sobre el control y recepción de mercancías y el manejo de productos terminados así como una integración con otras áreas de la empresa.

Con los resultados obtenidos en el modelo Siemens-FIET, la tesis de inventario y la parte 3 del estándar ISA 95 se estructuraron los flujos de información que permitieron definir las relaciones entre las diferentes funciones involucradas con inventario. Además fue posible establecer cuáles ámbitos dentro de la organización estarían involucrados con cada una de las funciones o flujos.

El uso de un enfoque holónico dentro de un sistema permite que este sea más flexible y por lo tanto se cuente con mayor capacidad de reacción ante los diferentes cambios que se presentan en la necesidades de los consumidores. Además los HMS no solo brindan soluciones viables a grande escala, también posibilitan la reacción oportuna y precisa de los elementos de la empresa (holones) en pro del cumplimiento de los objetivos, aun cuando se presenten perturbaciones.

Se modelaron todas las funciones de inventario como holones que presentan las características deseadas de un HMS y se obtuvo un sistema integrado y distribuido que permite la administración de inventarios de manera controlada y eficiente.

La metodología IDEF0 es de gran utilidad ya que permite delimitar de forma ordenada las funciones que cada proceso desarrollará, indicando de la misma manera los resultados que se obtendrán al procesar la información de entrada. Gracias a esta es posible identificar fallas en la adquisición de información o en la transmisión de la misma, se pueden establecer las relaciones cruciales, atendiendo al cambio en el estado de una salida y por ende se alcanza una mejor comprensión del proceso en desarrollo.

El método propuesto tiene un carácter genérico aplicable a diferentes industrias independientemente de su nivel de automatización. Estas características se heredan de la utilización de un estándar de automatización que no presenta limitantes en cuanto a la aplicación del mismo. El trabajo desarrollado contribuye a la interoperabilidad de la información porque se especificaron los posibles flujos que se pueden tener en el dominio de Inventario y como fluyen a través de las diferentes funciones y los diferentes ámbitos CIM.

En la aplicación a un caso real de la industria se encontró que los modelos son fáciles de emplear y guardan mucha coherencia entre sí, permitiendo observar las relaciones entre las funciones de inventario e identificar los objetos de negocio así como estructurar y ordenar los flujos de información y la dinámica del sistema.

Por otra parte culminado el trabajo se recomienda:

Tomar la información contenida en este proyecto para futuros trabajos orientados al área de Inventario, pues dentro de él se abordan todas las actividades que pueden llegar a ejecutarse dentro de dicha área, teniendo en cuenta los conceptos del estándar ISA 95.

Ejecutar un proyecto que permita la búsqueda de información relacionada con la implementación de los Sistemas Holónicos de Manufactura a través de componentes software.

Realizar formatos que permitan a las empresas que trabajan bajo certificación ISO 9001 aplicar el método de Administración de Operaciones de Inventario con el respaldo requerido por la misma.

A través de la aplicación de los modelos se identificaron diferentes falencias en la empresa caso de estudio; por lo tanto existen múltiples oportunidades de desarrollar procesos de automatización que van desde la instrumentación hasta implementación de componentes software de gestión empresarial.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Godás, Luis. "El ciclo de vida del producto". OFFARM, vol. 25, Núm. 8, septiembre 2006. Disponible en:

http://apps.elsevier.es/watermark/ctl_servlet?_f=10&pident_articulo=13094134&pident_usuario=0&pident_revista=4&fichero=4v25n08a13094134pdf001.pdf&ty=151&accion=L&origen=doymafarma&web=www.doymafarma.com&lan=es

[2] <http://www.uhu.es/divine/media/ciclo%20de%20vida%20del%20producto>.

REVISTA;

http://www.emprendedores.es/hemeroteca/2007/112_enero/112_alarga_tu_ciclo_de_vida

[3] Página oficial de la Compañía Nacional de Chocolates. Nuestra historia. Consultado en agosto 2012. Disponible: <http://www.chocolates.com.co/#compania>

[4] Rojas, Oscar Amaury. Material de clase. Diapositivas ISA 95. Curso: Modelado de sistemas integrados de producción. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.2012

[5] Pinto Leitao, Restivo, Fracisco. "An Agile and Adaptive Holonic Architecture for Manufacturing Control". Computers Industry vol. 57.Issue 2. Pág. 121-131. Febrero 2006.

[6] Higuerey Gómez, Ángel. "Administración de Inventarios". Universidad de los Andes. Departamento de Ciencias Contables y Administrativas.2007

[7] Temas diversos acerca de la aplicación de métodos cuantitativos para la toma de decisiones. Inventario. Consultado julio de 2012. Disponible en:

<http://elsimplexpacio.blogspot.com/2012/06/inventarios.html>

[8] Página oficial de Rockwell Automation. "Industria de materiales y logística". Consultado en julio 2012. Disponible en:

<http://www.rockwellautomation.com/es/industries/materialhandling/warehousing.html>

[9] Gómez Muñoz, Diana Consuelo; Manquillo, Carlos E. "Adecuación del Modelo Siemens a las Normas ISA 88 e ISA 95 con Aplicación Ilustrativa a Caso de Estudio" Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. 2007

- [10] BAUMGARTNER, Horst; Knischewski, Klaus; Wieding, Harald. "CIM Consideraciones básicas". Siemens Aktiengesellschaft&Marcombo, Barcelona, 1991.
- [11] ANSI/ISA—95.00.03—2005. Enterprise Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management.
- [12] ANSI/ISA-95.00.01-2000. Enterprise Control System Integration Part 1: Models and Terminology.
- [13] Anderson, Charles y Bunce, Peter. "Next Generation Manufacturing Systems-NGMS". Febrero 2000. Consultado en Julio de 2012. Disponible en: <http://www.ims.org/wp-content/uploads/2011/11/2.4.27.2-Project-Outcome-NGMS-PHASE-II-White-Paper.pdf>
- [14] Committee on Visionary Manufacturing Challenges, Commission on Engineering and Technical Systems, National Research Council. "Visionary Manufacturing Challenges for 2020". The National Academies Press. 1998. Disponible en: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6314&page=11
- [15] Radu F. Babiceanu. "Holonc-based Control System for Automated Material Handling Systems". Julio 12 2005. Pág. 25.
- [16] HARRINGTON, J. Computer Integrated Manufacturing, Huntington NY: R.E. Kreiger, 1973.
- [17] Araúzo Araúzo, José Alberto, de Benito Martín, Juan José y del Olmo Martínez, Ricardo. "Sistemas de Fabricación Holónicos". II Conferencia de Ingeniería de Organización. 2002.
- [18] H. Van Brussel, J. Wyns, P. Valckenaers, L. Bongaerts, and P. Peeters: "Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA". Computers in Industry. Vol. 37. (1998). 255-274.
- [19] A Koestler. "The Ghost in the Machine". Arkana Books. 1971
- [20] J Christensen. "Holonc manufacturing systems: Initial architecture and standards directions". in First European Conference on Holonic Manufacturing Systems, European HMS Consortium, 1994

- [21] F. Maturana and D. Norrie. "Multi-agent mediator architecture for distributed manufacturing". Journal of Intelligent Manufacturing, 1996.
- [22] Klemm and A. Luder. "PABADIS - an infrastructure for flexible shop floor automation". 4th International Conference Fieldbus Systems Applications, 2001
- [23] A. Giret and V. Botti. "ANEMONA: Una metodología multiagente para sistemas holónicos de fabricación". PhD thesis, Universidad Politécnica de Valencia, 2005
- [24] S. Bussmann, N. Jennings, and M Wooldridge. "Multiagent systems for manufacturing control. a design methodology". SpringerVerlag, 2004.
- [25] Vásquez S., Rubén Darío. "Modelo de holones recurso en sistemas holónicos de manufactura". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Sede Manizales. 2009.
- [26] Rojas. Oscar, Velasco. Juan Martín y Chacón. Edgar Alfonso. "Principios de un Modelo Dinámico para Integración Empresarial: Un enfoque desde los Sistemas Holónicos de Manufactura – HMS". Editorial Académica Española. ISBN 978-3-659-07447-9. 2013.
- [27] Langer, Giald. HoMuCS: "A methodology and architecture for Holonic Multicell". 1999. Denmark.
- [28] Quintero, Luis Fernando. "Un modelo de sistema inteligente para sistemas de manufactura basado en los paradigmas Holónico y Multi-Agente". Universidad Nacional de Colombia. 2009.
- [29] Siemens. Enterprise Manufacturing Intelligence. Documento consultado de la página oficial de Siemens. Consultado en octubre 2012. Disponible en: http://www.automation.siemens.com/mcms/mes/en/mes_suites/intelligencesuite/Documents/ED_IS_general.pdf
- [30] Andrickson, José; Conteras, Cesar; Amaya, Jhon; Chacón, Edgar. *Arquitectura de Automatización e Integración Moderna*. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela
- [31] González Gutiérrez, Pedro Carlos (2002). *Automatización de un Inventario de Repuestos*. Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ingeniería de Sistemas. Guatemala.
- [32] García Mireles Gabriel Alberto, Jacobo Rodríguez Josefina. *Aplicación del modelado de procesos en un curso de ingeniería de software*

[33] Geoffrey Sparks. Introducción al UML El modelado de Proceso de Negocio. Australia. Traducción: Fernando Pincioli. Chile

[34] Rojas, Oscar Amaury. "IDEF0". Curso: Modelado de sistemas integrados de producción. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. 2012

[35] Gestión de procesos de negocio <http://www.pixelware.com/workflow-flujo-trabajo.htm>. Consultado julio 2012.

[36] Oscar Amaury, Revisión bibliográfica de workflow nets (WF-Nets) en la integración empresarial. Grupo de Automatización Industrial. Universidad del Cauca, Colombia

[37] Montilva. J.A., Chacon E.A. y Colina. E. Un método para la automatización integral de empresas de producción continua. Información Tecnológica - Revista Internacional, Vol. 12, No. 6, 2001, pp. 147-156.