

TJ231
E8



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
MÉRIDA VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN

UNA ARQUITECTURA DE CONTROL PARA
LA AUTOMATIZACIÓN DE UNIDADES DE
PRODUCCIÓN CONTINUA

Autor
Ing. Norelkys Espinoza

Tutor
Dr. Edgar Chacón

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO ANTE
LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
COMO REQUISITO FINAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:
MAGISTER SCIENTAE
EN
INGENIERÍA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

© Abril, 2001

DONACION

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Una arquitectura de control para la automatización de unidades de producción continua

Autores: Espinoza, N. y Chacón, E.

Maestría en Ingeniería de Control y Automatización.

Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.

E-mail: norelkys@pg.ing.ula.ve, echacon@ula.ve

Existen en la actualidad muchas industrias de diferentes ramos que pueden definirse como complejos de producción continua debido a la complejidad de su proceso productivo. Elaborar un modelo que se adapte a las necesidades de cada una de éstas es un proceso muy complicado. La automatización de los procesos de producción continua requiere cumplir con las actividades de medición, control, y actuación sobre el proceso de producción. La integración de estas actividades en los procesos industriales permite que la gerencia pueda definir las pautas del proceso de acuerdo a las políticas y estrategias de la empresa, y a su vez planificar los procesos operacionales de acuerdo a las mismas. En miras a obtener esta arquitectura de integración, se puede decir que un Complejo de Producción Continua (CPC) está compuesto de diferentes Unidades de Producción (UP), cada una de las cuales comparte recursos y mediante la ejecución de un proceso definido y de interrelaciones entre ellas, permiten alcanzar el objetivo del CPC. El sistema total representado por la empresa está a su vez constituido por diferentes CPC, y su objetivo final está determinado por la fabricación de un producto mediante la interacción de dichos CPC. Por lo anteriormente dicho, es necesario modelar la Unidad de Producción, unidad transformacional básica central de cualquier proceso de producción, a fin de modelar la empresa.

Se provee una Arquitectura de Control y Supervisión aplicable a una unidad de producción de cualquier empresa, mediante la cual se hace posible que cualquier persona que conozca el proceso de negocios de su empresa pueda aplicarla sin inconvenientes y obtener un modelo de su empresa. Esta Arquitectura comprende el Modelo de Objetos y el Modelo Dinámico.

Para elaborar el Modelo de Objetos, se evalúan los procesos que se ejecutan dentro de la Unidad de Producción, haciendo una abstracción de la misma, sabiendo además que está conformada por distintos componentes - que también son objetos -, y están interrelacionados a través de un objetivo común. Esto se logra mediante el uso del lenguaje Unified Modeling Language (UML), escogido éste por debe estar orientado a objetos, utilizar un lenguaje gráfico, bien definido, independiente del modelo y estandarizado. El Modelo Dinámico se basa en que cada uno de los componentes que conforman el Modelo de Objetos tienen asociada cierta dinámica, ésta se representa mediante diagramas de estado asociados a cada una de las clases de objetos, los cuales se ejecutan concurrentemente a través de eventos compartidos, y mediante la utilización de Redes Workflow.

Palabras Clave: Integración, Automatización, Unidad de Producción, Complejo de Producción.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

A Giancarlo, a Vito, y a mis padres.

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Índice General

Agradecimientos	iv
Introducción	1
1 EL ENFOQUE JERÁRQUICO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	3
1.1 Comunicación entre los niveles de la pirámide.	9
1.2 Arquitectura para la Automatización Integral: Los Sistemas Decisorios.	11
1.2.1 Elementos de Automatización	11
1.2.2 Integración del Sistema	18
2 MODELADO DE LA EMPRESA PARA PROPÓSITOS DE NEGOCIOS	24
2.1 El Enfoque de la Orientación a Objetos	25
2.1.1 Semántica de Objetos.	28
2.2 Componentes fundamentales del modelado de negocios	29
2.3 Sistema Dinámico a Eventos Discretos (SDED) mediante orientación a objetos	30
2.4 Modelo de la Unidad de Producción según Chacón y otros	32
3 MODELADO DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MEDIANTE REDES WORKFLOW	37
3.1 WorkFlows	38
3.2 Redes de Petri	40
3.2.1 Tipos de Redes de Petri	42

3.2.2	Propiedades de las Redes de Petri	44
3.3	Redes WorkFlow	44
3.3.1	Relaciones entre las Redes WorkFlow y la Orientación a Objetos	46
3.4	Modelo Dinámico de la Unidad de Producción en Redes-WF	46
4	DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE SUPERVISIÓN PARA UNA UNIDAD DE PRODUCCIÓN	53
4.1	Notación del UML	54
4.2	Metodología CIMOSA	58
4.3	Arquitectura de la Unidad de Producción	61
4.3.1	Modelo de Objetos	61
4.3.2	Modelo Dinámico	67
4.4	Un ejemplo de Aplicación	74
	Conclusiones	110

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Índice de Figuras

1.1	Pirámide de automatización	4
1.2	Organización de las unidades de producción	7
1.3	La Pirámide de Sistemas Gerenciales según Carter y otros (1992). . .	8
1.4	Comunicación Horizontal	9
1.5	Comunicación Vertical Descendente	10
1.6	Comunicación Vertical Ascendente	11
1.7	Componentes del sistema de control	16
1.8	Dinámica de control de los sistemas decisorios.	17
1.9	Modelo de Negocios de la Empresa de Tres Dimensiones.	19
1.10	Arquitectura CORBA.	23
2.1	El desarrollo tradicional tiene cuatro etapas.	27
2.2	La tecnología orientada a objetos utiliza un modelo consistente. . . .	27
2.3	Nivel de Planta visto como un objeto.	31
2.4	Nivel de UP visto como un objeto.	31
2.5	Nivel de Equipo visto como un objeto.	32
2.6	Modelo de negocios de la empresa.	33
2.7	Unidad de Producción.	34
3.1	Red de Petri elemental.	40
3.2	Modelo Dinámico de la Unidad de Producción.	47
3.3	Modelo de las Tareas según Aalst y otros (2000b).	50
3.4	Dinámica del Controlador en el Manejo de Recursos.	51

v

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

3.5	Modelo de Fallas.	52
4.1	Componentes Básicos en UML.	55
4.2	Herencia y Generalización.	56
4.3	Asociación.	56
4.4	Agregación.	57
4.5	Relación de evento.	57
4.6	Descomposición de Procesos de Dominio.	60
4.7	La unidad de producción y sus relaciones con el ambiente.	62
4.8	La unidad de producción (i).	63
4.9	La unidad de producción (ii).	64
4.10	Arquitectura del Supervisor.	66
4.11	Diagrama de Estado de la Clase Recursos.	69
4.12	Diagrama de Estado de la Clase Actividad.	70
4.13	Diagrama de Estado de la Clase Proceso.	72
4.14	Diagrama de Estado de la Clase Segmento de producción.	73
4.15	Organización de las Unidades de Producción.	75
4.16	Modelo de las Unidades de Producción F-101 a F-106	76
4.17	Modelo de Objetos del Sistema de Vapor (i).	81
4.18	Modelo de Objetos del Sistema de Vapor (ii).	82
4.19	Diagrama de Estado del Sistema de Vapor.	83
4.20	Diagrama de Estado del Sistema de Combustión.	84
4.21	Diagrama de Estado del Sistema de Aire y Gas de Combustión.	84
4.22	Diagrama de Estado del Sistema de Agua - Vapor.	85
4.23	Modelo de Objetos del Sistema de Combustión.	86
4.24	Modelo de Objetos del Sistema de Ignitores.	89
4.25	Diagrama de Estado del Sistema de Ignitores.	90
4.26	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Regular Flujo de Gas Piloto</i>	91
4.27	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Enviar Gas a Ignitores</i>	91
4.28	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Encender Llama</i>	92

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4.29	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Generar Llama</i>	92
4.30	Diagrama de Estado del Recurso <i>Gas Piloto</i>	93
4.31	Modelo de Objetos del Sistema de Gas Combustible.	96
4.32	Diagrama de Estado del Sistema de Gas Combustible.	97
4.33	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Extraer Líquido de Gas</i>	98
4.34	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Mantener Nivel de Líquido</i>	98
4.35	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Regular Gas Combustible</i>	99
4.36	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Gas a Quemadores</i>	99
4.37	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Generar Llama</i>	100
4.38	Diagrama de Estado del Recurso <i>Gas no Regularado</i>	100
4.39	Modelo de Objetos del Sistema de Aceite Combustible.	104
4.40	Diagrama de Estado del Sistema de Aceite Combustible.	105
4.41	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Regular Aceite Combustible</i>	106
4.42	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Aceite a Retorno</i>	106
4.43	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Aceite a Quemadores</i>	107
4.44	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Controlar Presión de Vapor</i>	107
4.45	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Vapor de Limpieza a Quemadores</i>	108
4.46	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Vapor a Quemadores</i>	108
4.47	Diagrama de Estado de la Actividad <i>Generar Llama</i>	109
4.48	Diagrama de Estado del Recurso <i>Vapor de Atomización no Controlado</i>	109

Agradecimientos

A Dios, por permitirme la vida y la satisfacción de lograrlo.

A la Divina Pastora, por darme las fuerzas para no detenerme.

Al Profesor Edgar Chacón, por su invaluable guía.

A Luisa, Alicia, Gloria, Leonardo, Marioxy, Sandra e Hichert: sin ustedes jamás lo hubiese logrado.

Y finalmente, a todos los profesores que conforman el equipo de la Maestría en Ingeniería de Control y Automatización.

Norelkys

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Introducción

Existen en la actualidad muchas industrias de diferentes ramos que pueden definirse como complejos de producción continua debido a la complejidad de su proceso productivo. Elaborar un modelo que se adapte a las necesidades de cada una de éstas es un proceso muy complicado, ya que aunque pertenezcan al mismo contexto operativo tienen dinámicas muy diferentes.

Por esta razón se necesita de una arquitectura abierta, que permita la elaboración de modelos de distintas empresas en términos de los procesos a ser ejecutados, sus entradas y salidas, y los recursos a ser empleados. Debe definir, además, el proceso de producción de una manera integrada, ser compatible con cualquier tecnología, y a su vez contar con una interfaz amigable que haga posible que cualquier persona que conozca el proceso de negocios pueda aplicarla sin inconvenientes.

El modelo propuesto se basa en la consideración de la Unidad de Producción como elemento básico de la empresa (Chacón y otros: 2000a, 5), y en el propuesto por CIMOSA (Zwegers y otros, 1995), escogido éste último por proveer una infraestructura integrada.

Se modela la unidad de producción y se captura su dinámica. Para esto se evalúan los procesos que se ejecutan dentro de ella, haciendo una abstracción de la misma, sabiendo además que está conformada por distintos componentes - que también son objetos -, y están interrelacionados a través de un objetivo común.

La orientación a objetos surge como la tecnología más adecuada para alcanzar este objetivo, aplicada al modelado de negocios y mediante el uso de las redes workflow, lo que activa una representación del proceso de producción mediante una dinámica

a eventos discretos, y un concepto basado en entidades y relaciones representado a través del Unified Modeling Language (UML).

Este trabajo se divide en cuatro capítulos a saber:

- **Capítulo 1, EL ENFOQUE JERÁRQUICO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL:** Permite al lector comprender las nociones básicas del tema objeto de investigación.
- **Capítulo 2, MODELADO DE LA EMPRESA PARA PROPÓSITOS DE NEGOCIOS:** Introduce al lector en el campo de la orientación a objetos, sus nociones básicas, y cómo se modela una empresa en términos de objetos.
- **Capítulo 3, MODELADO DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MEDIANTE REDES WORKFLOW:** En este capítulo se presenta, luego de la introducción a las Redes de Petri y Workflow, la manera en que éstas metodologías se conjugan, para posteriormente proponer un modelo dinámico de la Unidad de Producción en Redes Workflow.
- **Capítulo 4, DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE SUPERVISIÓN PARA UNA UNIDAD DE PRODUCCIÓN:** Se propone una arquitectura de supervisión para una Unidad de Producción aplicable a cualquier organización, orientada a objetos, y compuesta de dos elementos básicos: el modelo de objetos y el modelo dinámico. Posteriormente se presenta un ejemplo del proceso de generación del vapor para procesamiento de crudo del Centro de Refinación Paraguaná (CRP) - Cardón de la empresa PDVSA Manufactura y Mercadeo.

Capítulo 1

EL ENFOQUE JERÁRQUICO DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

El proceso de automatización industrial puede ser dividido en dos vertientes: la automatización de sistemas batch (o por lotes) y la automatización de procesos de producción continua. Existen en la actualidad muchas industrias de diferentes ramos que pueden definirse como *complejos de producción continua*, debido a la complejidad de su proceso productivo.

La automatización de los procesos de producción continua requiere cumplir con las actividades de medición, control y actuación sobre el proceso de producción (sin contar las actividades financieras, administrativas, logísticas, etc). La integración de estas actividades en los procesos industriales, permite que la gerencia pueda definir las pautas del proceso de acuerdo a las políticas y estrategias de la empresa, y a su vez planificar los procesos operacionales de acuerdo a las mismas.

No obstante, la automatización de sistemas de producción continua es una tarea difícil debido al número de componentes del sistema (unidades de producción, sistemas financieros, planificación, etc.), las interacciones entre ellos y los diferentes comportamientos (continuo o discreto) que se esperan en cada uno de los componentes (Chacón y otros, 2000a: 2).

Las presiones de la competencia actual en los negocios y las fluctuaciones en el

mercado, hacen absolutamente necesario conectar los diferentes tipos de información - tradicionalmente aislados - en una estructura cohesiva, para de esta manera manipular la información organizacional en un marco de referencia, con una infraestructura totalmente integrada, mediante la cual dicha información sea accesible a todos los niveles de la empresa y asegurar así su óptimo funcionamiento.

En miras a obtener esta arquitectura de integración, Chacón y otros (2000a: 3) sostienen que un Complejo de Producción Continua (CPC) está compuesto de diferentes Unidades de Producción (UP), cada una de las cuales comparte recursos y mediante la ejecución de un proceso definido y de interrelaciones entre ellas, permiten alcanzar el objetivo del CPC. El sistema total representado por la empresa está a su vez constituido por diferentes CPC, y su objetivo final está determinado por la fabricación de un producto mediante la interacción de dichos CPC. Esta arquitectura comprende 4 niveles (Chacón y otros, 2000a: 4).

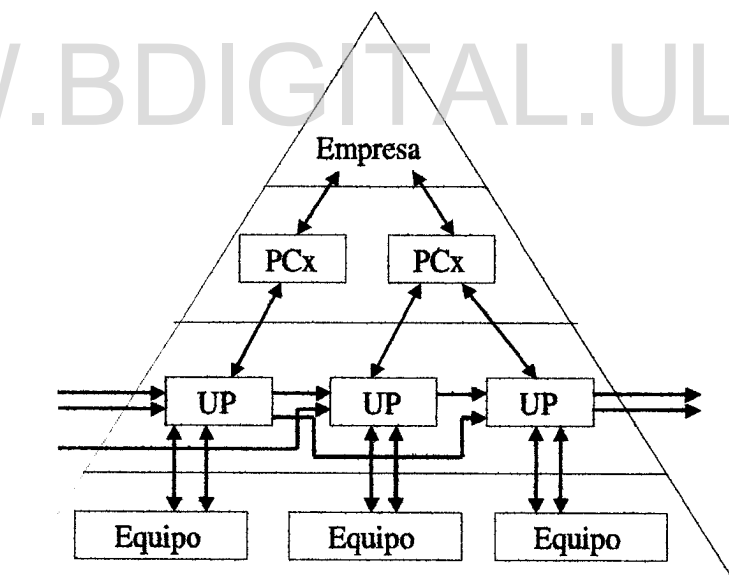


Figura 1.1: Pirámide de automatización

Cada uno de estos niveles, se caracteriza por contener un tipo de información y de procesamiento diferentes. La integración de un proceso automatizado, incluye la comunicación interna en cada nivel, y a su vez la comunicación entre los mismos, con el

fin de lograr sistemas que permitan ejecutar las diferentes tareas de control existentes en una empresa. Cabe resaltar que esta comunicación constituye la base para la integración, asegurándose así el óptimo funcionamiento de la planta y el alcance del objetivo de la empresa.

Los niveles encontrados en la pirámide de automatización son:

- **Empresa:** a nivel de empresa, el sistema comprende los problemas de gerencia de producción, el establecimiento de estrategias y niveles de producción, los cuales están asociados a las políticas globales de la empresa, el factor financiero, el mercado y la capacidad de la planta. Representan el punto focal y la fuerza iniciadora de toda la actividad gerencial. Su definición es una función privilegiada que se reserva a los altos funcionarios ejecutivos que definen la misión, los propósitos y los objetivos principales con los cuales se rige y guía la empresa a largo plazo a través de la institucionalización de decisiones estratégicas. Comprenden el estudio y evaluación de decisiones para ejecución y acción; la estructura y diseño de la organización y el desarrollo de un mecanismo interpretativo, para suministrar la información y control que se requieren si han de alcanzarse los objetivos básicos de la empresa.

No obstante, estos planes estarán influidos por los mensajes provenientes del nivel de planta, el cual determinará si la empresa puede continuar o no utilizando las estrategias de producción fijadas, de acuerdo a datos que reflejen la realidad del proceso. Por otra parte, el mercado también fija ciertas pautas a la hora de establecer las estrategias de producción, pautas que pueden requerir decisiones críticas y rápidas debido a demandas a corto plazo. Esta urgencia en el cambio de las estrategias, y su implementación, puede lograrse solamente mediante una muy buena comunicación entre las partes, objetivo primordial de la integración.

- **Planta:** Es el responsable del logro de las metas de producción fijadas por el nivel superior inmediato (empresa), mediante el manejo y coordinación de los recursos económicos, humanos y de equipos, para la ejecución de las diferentes

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

actividades orientadas hacia el logro de las metas señaladas. Funciones como el establecimiento de parámetros y criterios de producción son realizados a este nivel. Sin embargo, el especialista funcional, ayudado por el computador, debe suministrar información básica significativa para facilitar la toma de decisiones y detectar las debilidades o los puntos fuertes de las operaciones de negocios, mediante el uso de sistemas informáticos de toma de decisiones. Los resultados obtenidos de las funciones realizadas a nivel de planta, son enviados al nivel de supervisión para que sean implantadas mediante el equipamiento disponible a nivel supervisorio. El nivel de planta coordina las diferentes unidades de procesamiento que están bajo su responsabilidad. Labores como optimización y planificación de las tareas de producción se realizan a este nivel.

Es importante señalar que cualquier cambio en las estrategias de producción por el nivel de empresa, influirá sobre el comportamiento del nivel de planta. A su vez este nivel determinará si la empresa puede continuar o no utilizando las estrategias de producción fijadas por el nivel de empresa de acuerdo a los mensajes enviados por el nivel de Unidades de Producción con respecto a sus capacidades y funcionamiento actual.

- **Unidades de Producción:** A este nivel las UP ejecutan el proceso de producción de cada tipo de producto al mismo tiempo. Son unidades semi-autónomas, ya que ejecutan funciones de control y regulación a la vez que conocen como lograr sus metas de producción y su estado actual. Un sistema de producción continua puede entonces considerarse como un conjunto de unidades de producción, que comparten recursos, tales como: materia prima, energía, servicios e información. Puede producir un producto como se muestra en la figura 1.2a, o vincular sus componentes a fin de realizar un proceso más complicado como se muestra en la figura 1.2b. El segundo esquema de producción se considera un sistema complejo. Por consiguiente, un sistema complejo de producción continua se compone de varios sub-sistemas semi-autónomos, los cuales transforman las entradas en productos intermedios o productos finales (Chacón y otros, 2000a: 5). Las UP

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

abarcan todos los equipos requeridos para un segmento de producción, y operan de una manera relativamente autónoma para elaborar productos finales o intermedios mediante la toma de decisiones internas necesarias que le permitan ejecutar sus funciones de una manera óptima.

Este nivel está influido, a su vez, por el nivel de planta y el nivel de equipo, por modificación en las estrategias de producción o por fallas en los equipos.

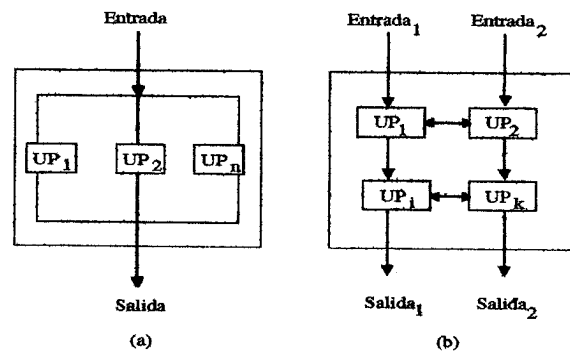


Figura 1.2: Organización de las unidades de producción

- Nivel de Equipo: se refiere a los instrumentos y equipos que están en contacto directo con el proceso. Por lo general son dispositivos electromecánicos con posibilidad de comunicación. Este nivel está influido a su vez por el nivel de Unidades de Producción.

En este mismo orden de ideas, Carter y otros (1992) describen un sistema de información gerencial en términos de una pirámide (ver figura 1.3), en la que el primer nivel consiste de recursos de información que dan soporte a la planificación estratégica y establecimiento de políticas de altos niveles de gerencia, la segunda capa consiste de sistemas de información que asisten en planificación táctica y toma de decisiones para control gerencial, la tercera consiste de recursos de información que apoyan día a día las operaciones y control, y la capa final consiste de datos operacionales y herramientas para accederlos. Alegan además, que en los sistemas organizacionales de toma de decisiones sólo conciernen los primeros tres niveles, ya que la mayor parte

de la información sobre la que se sustenta la gerencia y la toma de decisiones en tales niveles proviene de los datos operacionales o nivel de equipo. Este trabajo se basará sobre esta última consideración.

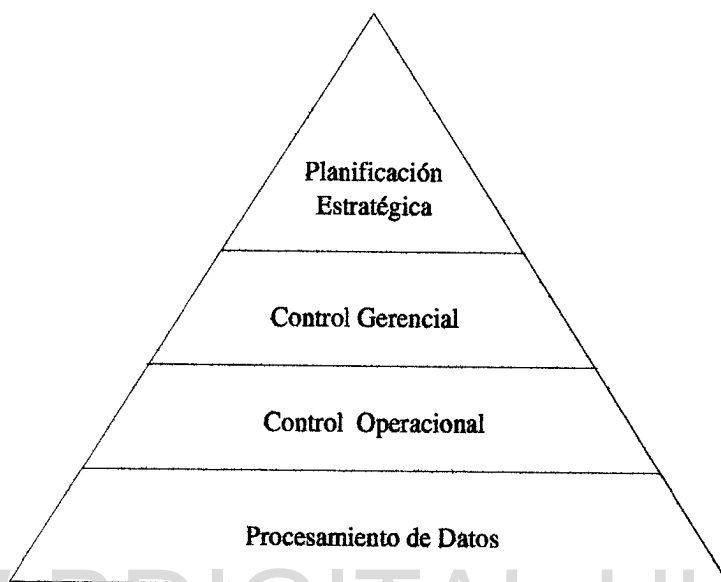


Figura 1.3: La Pirámide de Sistemas Gerenciales según Carter y otros (1992).

Tanto la pirámide de automatización citada por Chacón y otros (2000a), como la de Carter (1992), proveen las bases para la integración del procesamiento de la información de la empresa.

La integración es alcanzada por el uso de una computadora y una infraestructura de redes, así como por un control integrado y un esquema de decisión sobre la información almacenada y procesada por la tecnología de la información y de comunicaciones, las cuales, bien utilizadas, pueden incrementar significativamente la transparencia en las operaciones y disminuir el tiempo de ejecución, y subsecuentemente, mejorar la eficiencia y flexibilidad de los procesos de negocios.

Por otra parte, en el Modelo Jerárquico de Automatización (2000a: 3), se puede observar que se presentan las siguientes relaciones entre los cuatro niveles que lo conforman:

1. El nivel de Empresa está compuesta de uno o más CPC.
2. Cada uno de estos CPC está compuesto a su vez de uno o más UP.
3. Cada UP está compuesto por uno o más equipos.

Las UP son unidades semi-autónomas, que conocen cómo lograr sus metas de producción y su estado actual (Chacón y otros, 2000a: 5), de esto se deriva que la empresa, cada CPC y cada uno de los equipos pueden ser vistos como una unidad de producción.

1.1 Comunicación entre los niveles de la pirámide.

Entre los niveles de la pirámide de automatización, existen dos tipos de comunicación a saber:

- 1.1.1. Comunicación Horizontal: Es la que se da dentro de una organización entre las unidades que conforman un mismo nivel jerárquico.

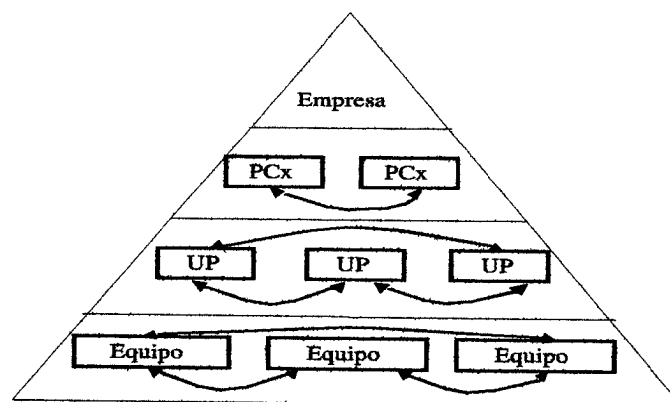


Figura 1.4: Comunicación Horizontal

- 1.1.2. Comunicación Vertical: Es aquella que tiene lugar entre los distintos niveles de la escala jerárquica utilizando los canales constituidos por la estructura

organizativa. Este flujo de comunicación puede darse de forma ascendente o descendente.

- Las comunicaciones verticales descendentes constituyen el tipo de comunicación más extendido, y están formadas por órdenes, reglamentos e informaciones de carácter general destinadas a facilitar, coordinar y ejecutar el trabajo, y así mantener la integración de la empresa. Estas relaciones se establecen continuamente a lo largo de los niveles de autoridad.

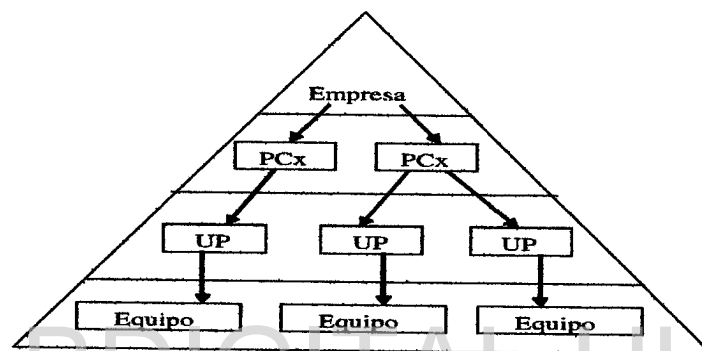


Figura 1.5: Comunicación Vertical Descendente

- Las comunicaciones verticales ascendentes, van desde la base a la cumbre, portando información referente a la ejecución del trabajo y la marcha de la unidad organizativa, ideas, sugerencias, solicitudes de aclaración, reacciones ante las órdenes e instrucciones recibidas, etc. Este flujo de información permite a la directiva “tomar el pulso” de una forma continua a los niveles inferiores y obtener datos útiles sobre la eficacia de la gestión.

Las comunicaciones ascendentes se consideran de igual importancia que las descendentes, por su valor en la eficiencia real del proceso comunicativo y la existencia de un proceso real de colaboración de todos los niveles de la empresa con la dirección de la misma.

El apoyo de esta vista de la empresa, puede facilitar la identificación de información relevante y actualizada mediante el uso de un sistema decisorio, que conduzca

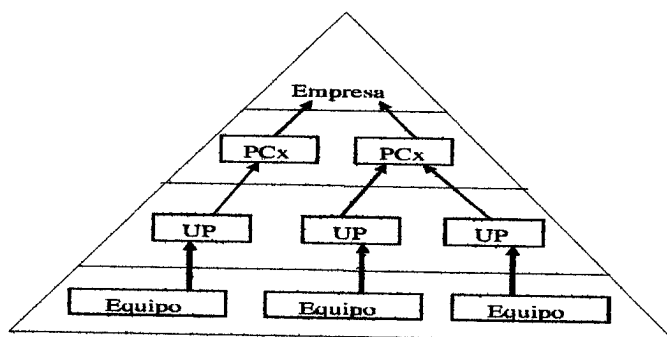


Figura 1.6: Comunicación Vertical Ascendente

hacia un mejor y más rápido proceso de toma de decisiones, incrementando por lo tanto la competitividad de la misma.

1.2 Arquitectura para la Automatización Integral: Los Sistemas Decisorios.

Las corporaciones de hoy deben realizar esfuerzos hacia el rediseño de sus procesos de negocios para mantener su dirección en un mundo complejo y gradualmente competitivo. Los negocios están demandando que los elementos involucrados, las herramientas de ingeniería de negocios y de software utilizadas para establecer sus relaciones, y las funciones propias de la empresa, estén enlazados más estrechamente.

Es en este sentido que surgen los sistemas decisorios con el propósito de servir de soporte a cada uno de los niveles que sustentan la pirámide de automatización, y así asegurar el óptimo comportamiento de la planta, mediante la correcta toma de decisiones que guíen a la empresa hacia la realización de las acciones más acertadas.

1.2.1 Elementos de Automatización

En cada nivel, un grupo de elementos, tanto físicos como lógicos, permiten conocer y actuar sobre el proceso, para conducirlo a los requerimientos de producción fijados por la empresa. Estos elementos son los siguientes:

- **Sistemas físicos:** Los sistemas físicos de transformación. El conjunto de máquinas - herramientas que permiten transformar o extraer un producto. Sistemas que obedecen a unas leyes físicas y pueden ser comandados o controlados por otros elementos.
- **Sistemas Lógicos:** Están representados por los sistemas responsables del mantenimiento y actualización de la información, la ejecución de la toma de decisiones y la interfaz hombre-máquina.
 - Sistemas programados para control y supervisión.
 - Sistemas de control de producción.
 - Sistemas de optimización y secuenciamiento de la producción, o sistemas decisivos.

Los sistemas decisivos funcionan con datos reales, provenientes del proceso, para lograr que la empresa cumpla con los objetivos asignados de una manera óptima. Se hace entonces necesaria la presencia, en cada nivel de la jerarquía de la planta, de Sistemas Automáticos de Toma de Decisiones, que funcionen en línea o en tiempo real, capaces de monitorear, evaluar el estado de la planta y procesar la información proveniente de los niveles adyacentes para la toma de decisiones que determinen qué acciones deben ser llevadas a cabo en los diferentes niveles, con la mínima intervención humana.

Sin embargo, en el esquema de automatización integrada de complejos industriales, la necesidad de transmisión de la información entre los diferentes elementos y niveles, amerita la existencia de medios de comunicación.

Esta comunicación entre los datos en tiempo real o en línea, y los sistemas decisivos, se logra mediante el uso de sensores y actuadores. Los sistemas decisivos conocen de la ocurrencia de un evento mediante sensores y modifican el estado del sistema bajo control mediante actuadores, tomando en consideración que tales decisiones deben estar orientadas hacia el logro de los objetivos fijados por la empresa.

Los sensores y actuadores son objetos localizados en cada una de las capas de un proceso de automatización. Cada uno de estos sensores presenta los datos/información requeridos por los sensores de los niveles superiores, y cada actuador realiza o actualiza cambios y órdenes en el nivel inmediatamente inferior. Es de suponer entonces que la determinación del estado de un proceso depende directamente de estos dos elementos. Además, en su mayoría, los diversos dispositivos de un sistema de Automatización Integrada no pueden comunicarse en forma directa, y son los sensores y actuadores la interfaz adecuada para que esta comunicación sea posible.

El sensor es un elemento físico o lógico que permite la medición directa o indirecta del estado de un proceso complejo a través de variables, y puede convertir una variable de salida en otra que pueda ser más adecuada para un fin específico. Dependiendo del caso es capaz de leer una base de datos o capturar un evento de un objeto de datos, las variables pueden ser físicas (mecánicas, neumáticas, eléctricas, electrónicas) y lógicas (bits, bytes, registros, tablas, archivos, etc.).

Las señales emitidas por los sensores son manejadas y enviadas por una interfaz al controlador (procesador) que se encarga de recibir estos parámetros de acuerdo con la programación que se le haya dado. Este debe realizar alguna operación que afecte y regule directamente el proceso llevado a cabo: esta acción será llevada a cabo por los actuadores.

Existe tanta diversidad de sensores como fenómenos físicos y sus variaciones, según el sistema o principio que utilicen para convertir lo que reciben en señales apropiadas para que sean útiles al control. Entre estos están:

Sensores de luz: Entregan una señal eléctrica directa o indirectamente, correspondiente a la cantidad de luz que incide o llega sobre su superficie. Aquí se encuentran las fotoceldas y fototransistores.

Sensores de sonido: Sensores de reconocimiento de la voz.

Sensores de tacto: Llamados también de presión, son muy importantes ya que permiten detectar la presión en un sistema de agarre, o la presencia de una determinada superficie u objeto.

Sensores de posición: Existen dos tipos de posición: la relativa y la absoluta. La relativa está ligada a la variación con respecto de la posición inicial, es decir si se movió hacia adelante, hacia atrás, a un lado, en cuanto a la longitud y ángulo, etc. La absoluta determina en qué coordenadas o sitio se encuentra un robot en un momento dado.

Sensores de compases electrónicos: Estos sensores entregan una señal digital correspondiente a la orientación geográfica actual (norte, sur, este, oeste y sus posiciones intermedias), así como los grados exactos en los modelos más sofisticados.

Sensores de temperatura: Se utilizan para determinar a qué temperatura (calor o frío) se encuentra el medio ambiente o un determinado elemento. Entre estos se encuentran los termistores, sensores de temperatura integrados y los sensores piroeléctricos.

Sensores de proximidad o distancia: Se utilizan ampliamente en robótica, para medir distancias o para dotar a un robot con detectores de obstáculos o todo tipo de objetos.

Sensores de extensión: Elongación o estiramiento (Strech), permiten determinar fácilmente cuando una pieza se separa de otra o alguna parte de un mecanismo se extiende o encoge.

Visión artificial con cámaras de video: El campo de la identificación de imágenes también permite la toma de decisiones. También se le denomina visión artificial y corresponde a su vez a la ciencia de la "Inteligencia Artificial".

Un actuador es un dispositivo que transforma una secuencia de símbolos de un dispositivo determinado, en órdenes (o acciones) a otro dispositivo. Estas órdenes

o acciones pueden ser señales físicas (mecánicas, neumáticas, electrónicas) y lógicas (bits, bytes, registros, etc.).

El proceso bajo control, la acción que se tiene que llevar a cabo, y la velocidad con que ésta debe realizarse, son factores que influyen en la clase de actuador que se ha de utilizar para determinada función dentro de un sistema automático. Generalmente, los tipos de actuadores que encontramos en la industria son de tres clases:

Actuadores neumáticos: Emplean aire a presión para producir el movimiento mecánico.

Se utilizan cuando se requiere alta velocidad y ni la precisión ni la potencia son determinantes. Entre ellos están los motores neumáticos, que se utilizan cuando se requiere movimiento de rotación, y los cilindros neumáticos, que se utilizan cuando se requiere movimiento lineal.

Actuadores hidráulicos: El movimiento mecánico lo produce la fuerza de un líquido a presión, se usan cuando se requiere una potencia elevada y condiciones ambientales duras. Estos actuadores están representados por los motores hidráulicos y cilindros hidráulicos. Los motores hidráulicos no presentan problemas de refrigeración y soportan sobrecargas sin sufrir daños, mientras que los cilindros son apropiados cuando se requiere potencia y movimiento no muy rápido.

Actuadores electromecánicos: Tiene como principal ventaja su facilidad de instalación, ya que en todas las plantas industriales poseen energía eléctrica y es relativamente sencillo hacer la instalación necesaria. Se utilizan cuando se requiere una cierta precisión, y no son importantes ni la potencia, ni el ambiente excesivamente duro. Entre ellos están los motores de corriente continua, los cuales presentan un elevado par de arranque y su regulación es muy simple; los motores paso a paso, que trabajan con elevadas variaciones instantáneas de velocidad y los servomotores sin escobillas, que presentan una mayor potencia específica, velocidad más elevada, mejor rendimiento y menor ruido.

Las estrategias de producción se pueden considerar, entonces, como los comandos que son enviados desde el nivel de empresa al nivel de planta, y que modifican la

producción. La organización del sistema de control para cualquier nivel de integración, es entonces la mostrada en la Figura 1.7.

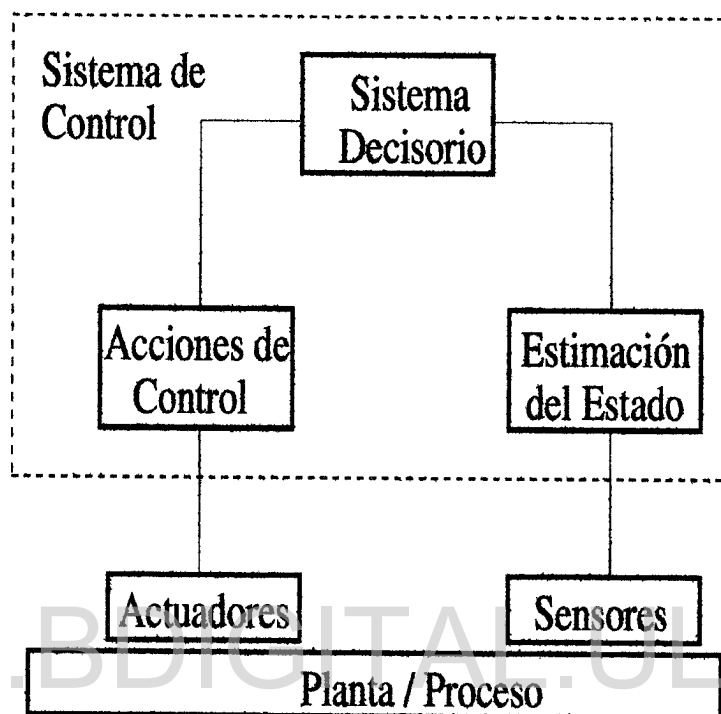


Figura 1.7: Componentes del sistema de control

En la arquitectura de integración de la Automatización Industrial se definieron cuatro niveles, cada uno de los cuales, a su vez, pueden ser compuestos. Cada nivel de esta jerarquía debe contar por lo tanto, de tantos sistemas decisorios como elementos lo conformen.

Una de las premisas utilizadas en automatización, es la de mantener los procesos controlados de manera autónoma, con equipos que tengan una alta tolerancia a fallas. Esto implica que sistemas con múltiples unidades donde cada una de ellas es dueña de su propio sistema de control, necesiten estar interconectadas, para que de esta manera se asegure un óptimo desempeño global, y subsecuentemente, la transmisión de información entre los procesos, acerca de su estado de operación.

Es así, como al ocurrir un evento que implique un cambio en estado en la planta, el sistema decisorio correspondiente tomará la mejor decisión para llevar de nuevo a la planta a su estado óptimo, o indicará al operador, si es necesario que éste decida, un conjunto de alternativas posibles de acción.

Posteriormente, le indicará a los niveles adyacentes la decisión tomada, para que el sistema total se adapte al nuevo estado, mediante la implementación en todos los elementos que componen cada nivel, del sistema decisorio correspondiente, que asegure la coherencia en el estado global de la planta (ver figura 1.8.).

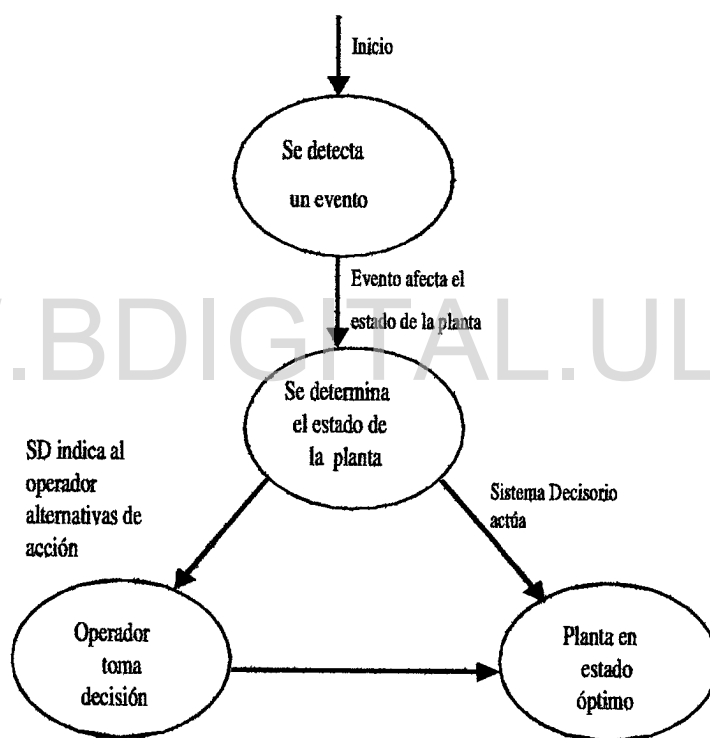


Figura 1.8: Dinámica de control de los sistemas decisorios.

Por otro lado, los sistemas decisorios mediante la técnica del modelado, permiten hacer simulaciones acerca del comportamiento de la empresa ante la presencia de cambios en el mercado, lo que identificaría las capacidades y limitaciones de la empresa, además de evaluar alternativas de procesos.

El sistema decisorio depende de los escenarios que describen el ambiente y sus componentes así como las relaciones entre ellos. Tales escenarios, por momentos, identificarán las características del mercado seleccionado, el cual debe estar en concordancia con las capacidades de las operaciones y de la organización. Este análisis puede llevarse a cabo usando modelos relevantes de los procesos de negocios y simulando el comportamiento de la empresa en el mercado esperado. Adaptar los procesos de negocios al mercado necesita identificar las actuales capacidades operacionales de la empresa. La representación del modelo basado en el computador hará posible esta evaluación de las alternativas del proceso y por lo tanto suministrará la optimización de las operaciones de la empresa (Kosanke, Vernadat y Zelm, 1999: 86).

Los modelos del proceso de negocios describen la dinámica de la empresa. Estos modelos pueden usarse para servir de soporte al proceso de toma de decisiones, teniendo la característica de ser modelos actualizables del proceso, que dependen de las modificaciones o actualizaciones que el mismo sufra.

El uso de estos modelos, permitirá a su vez, un entendimiento común de los procesos de la empresa, mediante el uso de una interfaz gráfica estándar, la cual permita alcanzar el engranaje entre las actividades de los diferentes niveles jerárquicos de la integración.

1.2.2 Integración del Sistema

El objetivo primordial es permitir la integración de las decisiones, a través del intercambio de información entre los niveles que conforman la pirámide de automatización de manera óptima, para así unificarlos.

1.1.2.1. Modelo de la Empresa: De acuerdo con el modelo de automatización que describe los niveles de la pirámide, debemos definir un modelo de la empresa, para así asegurar que la información fluya entre los diferentes niveles. Este trabajo, propone el Modelo de Negocios de la Empresa de Tres Dimensiones (Chacón y otros, 2000a: 9), para describir dicho flujo de información. Tal modelo se describe en la figura 1.9.

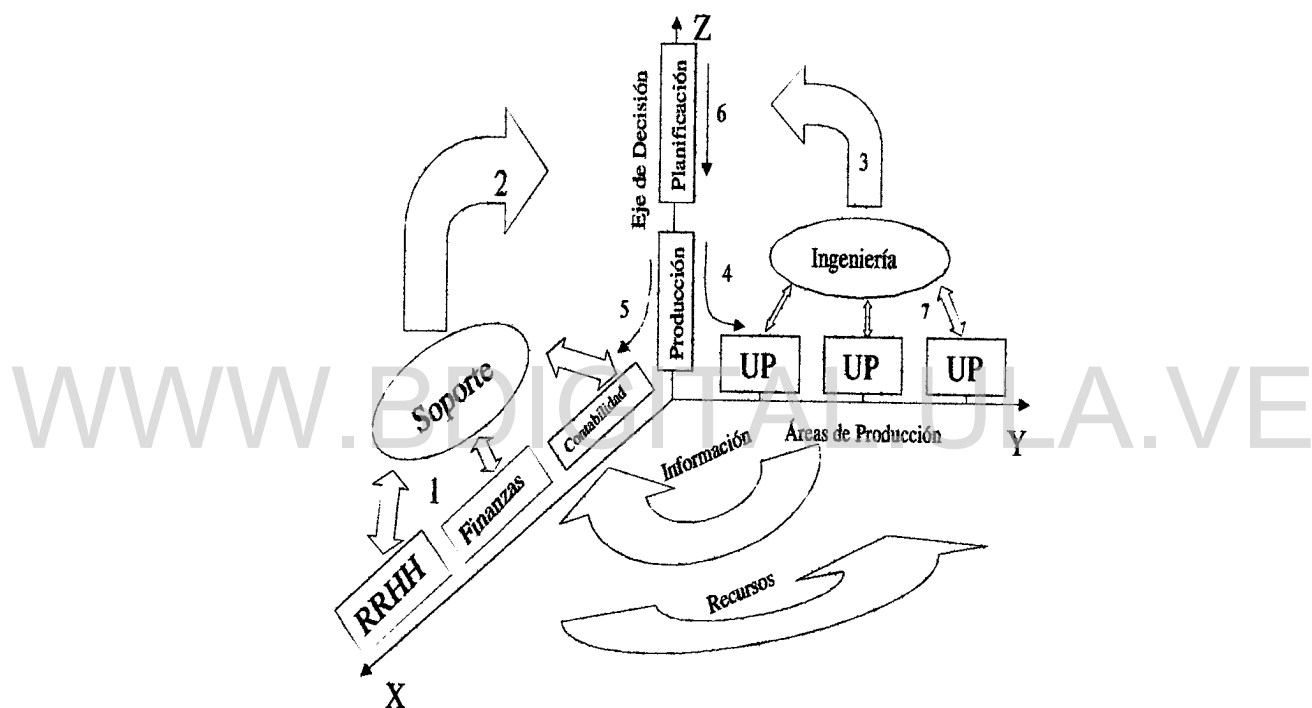


Figura 1.9: Modelo de Negocios de la Empresa de Tres Dimensiones.

En este modelo se describen las funciones que se llevan a cabo en la empresa de una manera jerárquica y equivalente al modelo de automatización integrada.

Descripción de los ejes:

- El eje x corresponde a las funciones de soporte de la empresa, tales como contabilidad, finanzas, recursos humanos, etc.
- El eje y identifica las Unidades de Producción de una planta, sus interrelaciones y la estructura topológica que les permite ejecutar las tareas de producción.
- En el eje z se modelan las actividades de planificación y se describen las actividades de toma de decisiones. Posteriormente, las UP ejecutan las tareas asignadas por este eje.

Descripción de los planos:

- El plano y-z o plano de ingeniería, describe la interacción entre las capacidades de las UP del eje y, y los sistemas de decisión del eje z. Provee información acerca del estado de las UP y evalúa la ejecución de las mismas.
- El plano x-z establece el enlace entre el eje de soporte o eje x, y los sistemas decisorios. Provee el análisis económico de las UP y provee información acerca del presupuesto disponible y recursos financieros.
- El plano x-y se refiere al intercambio de recursos e información acerca de la producción entre los sistemas de soporte y las UP.

1.1.2.2. Los Sistemas SCADA: Pero para capturar la información que se da en las tareas de producción y poder controlarla, se necesita de un tipo especial de sistemas que realice la comunicación: los sistemas Scada.

Los sistemas Scada se encuentran en contacto directo con los procesos, y capturan la información necesaria para la posterior planificación y optimización de la producción.

El problema actual en cualquier Red de Campo es que no todos los fabricantes de sistemas PLC, sensores, actuadores e instrumentos de campo, soportan todos los protocolos existentes. Actualmente el objetivo de muchas compañías es definir un estándar abierto, único que permita la interconexión independientemente de las diferentes marcas comerciales.

Los dispositivos controladores son los encargados de regular las variables a nivel de campo, bien sea a petición de una estación maestra o por la incorporación de algoritmos de toma de decisiones en su modo de operación. Ellos son capaces de interactuar tanto con instrumentos inteligentes (sensores o actuadores) por medio de un protocolo común, como con instrumentos de naturaleza analógica, a través de los puertos de entrada y salida analógica con los que vienen equipados.

En el caso donde los instrumentos finales son de naturaleza analógica, es decir, que la información está representada por un valor de corriente dentro del rango de (4 - 20) mA, el tamaño del paquete se determina a partir de la comunicación estación maestra - esclava, la cual es de naturaleza digital. La estación maestra está representada por el centro de control y la estación esclava está representada por la red de campo (instrumentos finales de control y el Sistema de Control y Adquisición de Datos - SCADA).

El Sistema de Control Supervisorio y Adquisición de Datos (SCADA) es una tecnología que permite obtener y procesar información de procesos industriales dispersos o lugares remotos inaccesibles, transmitiéndola a un Centro de Control para supervisión, control y procesamiento.

La operación global del SCADA está gobernada por programas de informática que manejan el Sistema Operativo, las Bases de Datos, el Software SCADA y los Programas de Servicio y Aplicación.

- 1.1.2.3. Middleware CORBA: Para la integración de estos sistemas que operan en los diferentes niveles es necesario una arquitectura de información constituida por software y hardware, que permita la comunicación transparente entre

los mismos. El hardware comprende la infraestructura de red, mientras que el software consta de una plataforma independiente llamada middleware, que actúa por debajo de las aplicaciones y es independiente de las tecnologías existentes. Entre las tecnologías de integración existentes se encuentran CORBA, cuya arquitectura es basada en objetos, y el DATAWAREHOUSE, orientado a datos.

CORBA es una especificación desarrollada por la OMG, mediante la cual los objetos hacen solicitudes transparentemente a -y reciben respuestas de- cada otro en la misma máquina o a través de una red. Un cliente no necesita percatarse del mecanismo usado para comunicarse o activar un objeto, cómo es implementado, ni dónde está localizado. CORBA entonces conforma la base para la construcción de aplicaciones a partir de objetos distribuidos, y permite la comunicación entre dichos objetos, sin importar la plataforma en que ellos se encuentren, por medio de la definición de la interface de cada uno de ellos, de las cuales se tiene cuatro categorías:

- Servicios de objetos: Son interfaces para servicios generales que se usan en cualquier programa basado en objetos distribuidos.
- Facilidades comunes: Son interfaces para facilidades horizontales orientadas al usuario final, y aplicables a más dominios de aplicaciones.
- Interfaces de dominio: Son interfaces de dominio específico de las aplicaciones.
- Interfaces de aplicación: Son interfaces de aplicación específica no estandarizadas.

La arquitectura de CORBA se basa en dominios de objetos conectados por una capa facilitadora que intercepta todas las peticiones de servicio fuera del alcance del objeto y las enruta de manera correcta tal como se muestra en la figura 1.9. El lenguaje de desarrollo utilizado en CORBA se denomina Lenguaje de Definición de Interfaz (IDL) para las interfaces de comunicación, mientras que los

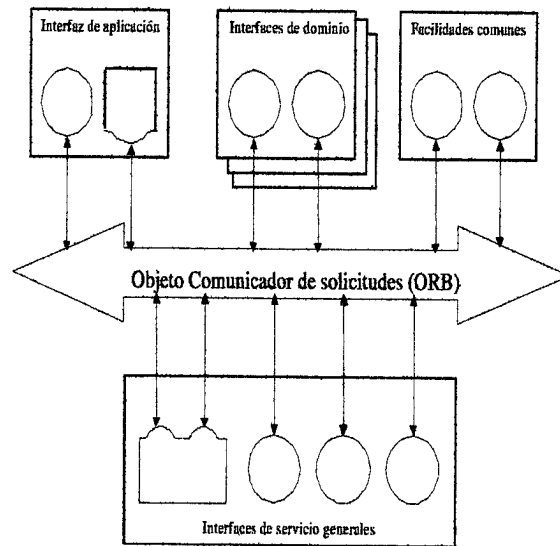


Figura 1.10: Arquitectura CORBA.

objetos que representan los procesos pueden ser desarrollados bajo el sistema nativo.

El IDL provee una vía estandarizada para definir las interfaces de los objetos CORBA. Este lenguaje ensambla objetos en mapas, activándolos, para implementar y enviar solicitudes en su propio lenguaje de programación, en el estilo natural de dicho lenguaje.

Capítulo 2

MODELADO DE LA EMPRESA PARA PROPÓSITOS DE NEGOCIOS

El desafío de las empresas actuales, es el de perfeccionar el proceso de negocios. Los sistemas de información necesarios para los negocios actuales y del futuro deben apoyarse en un modelo cambiante, con capacidad de adaptarse y modificar sus procesos y tecnologías. Sin embargo, en los sistemas de información de hoy en día, el mayor obstáculo para el cambio es la coordinación de intercambio entre aplicaciones y datos.

Las corporaciones no necesitan sólo de nuevos tipos de sistemas de información, sino también de nuevas formas de interacción entre dichos sistemas y el hombre. Con los actuales métodos, los humanos deben tratar de entender la información presentada mediante datos separados. Se necesitan nuevos tipos de sistemas de información, en los cuales, inversamente, sea el computador quien tenga que entender cómo colocar los datos para que los mismos sean procesados por los humanos de una forma natural. Esta información debe reflejar la realidad como es percibida y entendida por los humanos, y no las construcciones artificiales de las transacciones, tablas y hojas de cálculo de los sistemas de hoy.

La solución es integrar datos y procesos para reflejar la estructura real de la organización, representando las actividades del negocio y el soporte que proveen los sistemas de información como un solo proceso. Este modelo de la empresa puede ser

más fácil de entender y de comunicarse que los modelos tradicionales de computación.

Un negocio puede ser modelado en términos de objetos que lo caracterizan y lo reflejan. Los objetos pueden representar inventarios y facturas, clientes y vendedores. Los objetos también pueden representar eventos en un negocio, tales como comprar, vender y otro tipo de transacciones (Cory Casanave,1997).

El uso de los modelos abre el paso en el camino del desarrollo de los sistemas de información de negocios. El modelo en sí debe diseñarse de modo que sea flexible al cambio, debido a que los procesos de negocios evolucionan constante y rápidamente.

El método de modelar para la innovación en los negocios no es posible sin un software que realice esta tarea. Por esta razón la tecnología orientada a objetos, utilizada en un sistema decisorio, debe ser la base de dicha fusión.

2.1 El Enfoque de la Orientación a Objetos

La orientación es una manera de modelar sistemas reales en el mundo real. La construcción de un modelo orientado a objetos consiste en la identificación de los objetos y la determinación de las relaciones que existen entre los mismos.

Debido a lo anteriormente dicho, el hecho de modelar una empresa acarrea ciertos inconvenientes para el diseñador. Cuando se comienza a construir un modelo, deben tomarse en cuenta una gran cantidad de cosas, y a su vez las interacciones entre cada una de ellas, lo que acarrea manejar un alto nivel de complejidad, debido al gran número de detalles que deben considerarse al mismo tiempo.

En la metodología de objetos, esta complejidad es proporcional a la suma de los objetos que se necesita considerar más las interacciones entre los mismos. Es decir:

Complejidad

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n p_i = n + \frac{n(n-1)}{2} = n + \frac{(n^2)}{2} - \frac{n}{2} = \frac{(n+n^2)}{2}$$

Si despreciamos el $\frac{1}{2}$, nos queda:

Complejidad

$$n + n^2$$

Donde n representa el número de objetos que componen nuestro modelo.

Esta técnica, por otro lado, tiene la ventaja frente a otras metodologías de ser más natural (más próxima a la manera de pensar y hablar de las personas) e integrar los principios de la ingeniería del software en un paradigma coherente (el concepto del "objeto"). También tiene la ventaja de ser más flexible, y proveer soporte para el manejo de tipos de datos complejos.

Además manipula dichos datos complejos de forma rápida, debido a que la estructura de la base de datos está dada por referencias (o apuntadores lógicos) entre objetos. Esto permite que los objetos hagan referencia directamente a otro mediante apuntadores suaves, es decir, se pasa más rápido del objeto A al B que en las Bases de Datos Relacionales, las cuales deben usar comandos *join* para lograrlo. Incluso el *join* optimizado es mucho más lento que un recorrido de los objetos.

Por otro lado, hacen que el agrupamiento sea más eficiente. La mayoría de los sistemas de bases de datos permiten que el operador coloque cerca las estructuras relacionadas entre sí en el espacio de almacenamiento en disco. Sin embargo los objetos se traducen en representaciones tabulares que provocan el dispersamiento de los mismos en varias tablas, siempre que los renglones relacionados estén agrupados. Esto reduce en forma radical el tiempo de recuperación de los datos relacionados, puesto que todos los datos se leen con una sola lectura de disco. No obstante, esto es automático en Orientación a Objetos.

Las técnicas de Orientación a Objetos utilizan los mismos modelos conceptuales para el análisis, diseño y construcción, a diferencia del desarrollo tradicional (ver figuras 2.1 y 2.2). La tecnología de las bases de datos de orientación a objetos dan un paso más hacia la unificación, en lugar de utilizar tablas por relación independientes como SQL.

El uso del mismo modelo conceptual para todos los aspectos del desarrollo del sistema, lo simplifica, mejora la comunicación entre usuarios y analistas o programadores, además de reducir las posibilidades de error.

Aplicando estos conceptos al modelado de negocios, puede definirse éste como una

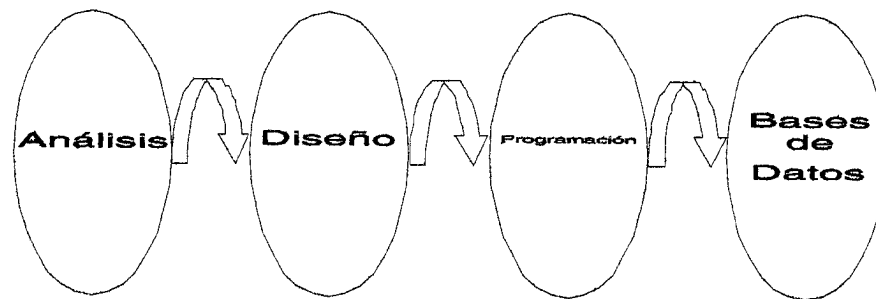


Figura 2.1: El desarrollo tradicional tiene cuatro etapas.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

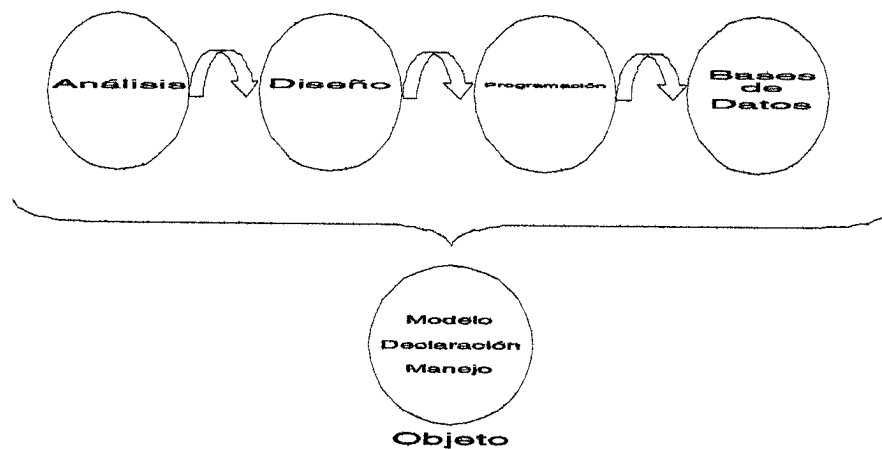


Figura 2.2: La tecnología orientada a objetos utiliza un modelo consistente.

metodología que permite simular el comportamiento de una organización y analizarlo con la finalidad de optimizar el funcionamiento de la misma, mediante la introducción de nuevos componentes y unificación de procesos. Estos procesos se encapsulan con el objetivo de poder definir sus interrelaciones.

2.1.1 Semántica de Objetos.

Un sistema de objetos provee servicios a clientes. Un cliente de un servicio es cualquier entidad capaz de requerir dicho servicio.

Un *objeto* es un modelo de una entidad, identificable y encapsulada, que consiste de su propia información (datos privados), sus propios procedimientos privados (métodos) que manipulan los datos privados del objeto. Está caracterizado por su comportamiento y su estado. Su función principal es la de proveer de uno o más servicios a un cliente. Al terminar la ejecución del mismo, envía los resultados a dicho cliente, si estos existen.

Un *cliente* solicita servicios a un objeto mediante solicitudes. Una *solicitud* es un evento, es decir algo que ocurre en determinado momento, capaz de cambiar el estado de un sistema. Una solicitud causa la ejecución de un servicio en beneficio de un cliente.

El conjunto de operaciones posibles que un cliente puede solicitar de un objeto se denomina *interface*. Una *operación* es una entidad identificable que denota un servicio que puede ser solicitado.

Los objetos que pertenezcan al mismo dominio de atributos, se dice que son del mismo *tipo*, mientras que el concepto *clase* los clasificará de acuerdo a sus métodos.

Los *métodos* son los que hacen posible conectar algoritmos a los objetos. Estos métodos describen el comportamiento de un objeto, es decir, los servicios o acciones que el mismo puede ejecutar.

2.2 Componentes fundamentales del modelado de negocios

El modelado de negocios consta de dos componentes fundamentales: Los objetos y procesos.

Los objetos de negocios describen las características y propiedades de los componentes de un negocio en cualquier nivel de detalle. Como cualquier objeto, provienen de diferentes variedades llamadas clases. Una clase es una definición genérica simple para objetos similares, los cuales son llamados instancias de las clases. Estas clases constituirán los bloques fundamentales del modelo. Estos objetos tienen, además, métodos. Los métodos son las secuencias de instrucciones que permiten al objeto ejecutar ciertas acciones. Son las mismas funciones o procedimientos de los lenguajes convencionales, con la única diferencia que están definidos para clases específicas.

Los Procesos de Negocios describen el comportamiento de los objetos, su parte dinámica, y representan el flujo de trabajo e información a través de los negocios. Estos procesos actúan en los objetos negocio ocasionando que el objeto funcione. Definen las actividades que realizan los objetos de negocios y cómo se relacionan los mismos en función de alcanzar los objetivos fijados por la empresa.

En este mismo orden de ideas, Zwegers y otros (1997), describen un Proceso de Negocios en su metodología CIMOSA, como una secuencia de actividades de la empresa que al ejecutarse permite alcanzar un resultado. Podemos decir, entonces, que una empresa es un conjunto de procesos de negocios.

El modelado de negocios está conformado por objetos clásicos, donde un cliente envía un mensaje a un objeto. Conceptualmente, el objeto interpreta el mensaje para decidir qué servicio ejecutar. En el modelo clásico, un mensaje identifica un objeto y otros parámetros actuales, si estos existen. Estos objetos representan los recursos, que al ejecutar un servicio, están llevando a cabo una actividad en función de los objetivos de la empresa.

2.3 Sistema Dinámico a Eventos Discretos (SDED) mediante orientación a objetos

El hecho de que cada elemento pueda ser visto de modos diferentes, dependiendo del tipo de decisión a tomar, hace más complicado el proceso de la integración de los sistemas. Diseñar el sistema completo como una composición de objetos, en la que cada uno de estos objetos puede ser compuesto, representa la manera más sencilla para desarrollar el sistema automatizado total.

En el enfoque jerárquico, se definieron cuatro niveles para la integración de la automatización. Cada uno de estos niveles puede ser visto como un objeto, identificable y encapsulado, que recibe mensajes de un cliente y de acuerdo a estos actúa para suministrar información o servicios.

Desde este punto de vista, el nivel de empresa como objeto, recibe mensajes del mercado y del nivel de planta, los cuales a su vez son objetos, y de acuerdo a estos mensajes establece o modifica las estrategias de producción a largo plazo de la empresa.

De la misma forma, el nivel de planta visto como un objeto, recibe del nivel de empresa los planes de producción fijados y a su vez recibe del nivel de unidades de producción su capacidad de producir un determinado producto, y de acuerdo a esto, calcula y planifica la producción. Pero este nivel está compuesto a su vez por diferentes CPC, los cuales pueden ser vistos como objetos, lo que implica que el nivel de planta es un objeto compuesto. Es decir, el nivel de planta posee uno o más PCx (ver figura 2.3).

La base del diseño está sustentada en la concepción de que tanto la dinámica del comportamiento de los procesos inherentes a cada nivel de la jerarquía de automatización, como el proceso de toma de decisiones en sí, pueden ser representados mediante Sistemas Dinámicos a Eventos Discretos (SDED) (Smendinga, R., 1993), los cuales pueden modelarse usando redes de petri o autómatas de estado finito.

No obstante, al tratar a cada nivel como un sólo objeto, se está usando una técnica característica de la Orientación a Objetos: reducir el número de cosas con las cuales

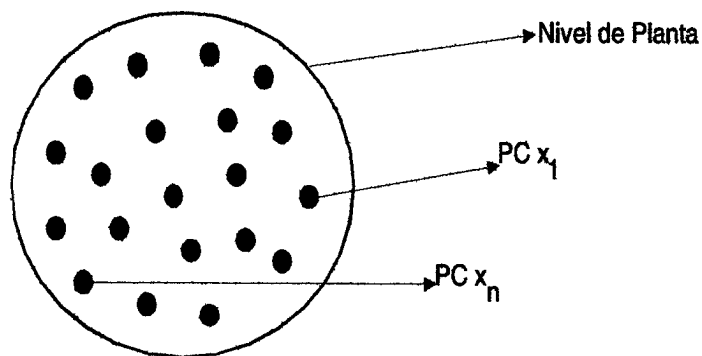


Figura 2.3: Nivel de Planta visto como un objeto.

tratar simultáneamente, característica conocida como abstracción.

Se sabe además, que un sistema de producción continua está formado por varias unidades de producción (UP) que son autónomas, es decir, controlan internamente su comportamiento para alcanzar sus objetivos. El sistema en su totalidad alcanza sus objetivos estableciendo metas más simples para cada UP. Si una UP tiene varios subsistemas, lo óptimo para esa UP se establece en el mismo modo jerárquico. Podemos decir entonces, que una unidad de producción es un objeto.

Pero como se dijo que cada nivel es un objeto, entonces el nivel de UPs también es un objeto encapsulado y compuesto a su vez por otros objetos, y por lo tanto éste también es un nivel compuesto (ver figura 2.4).

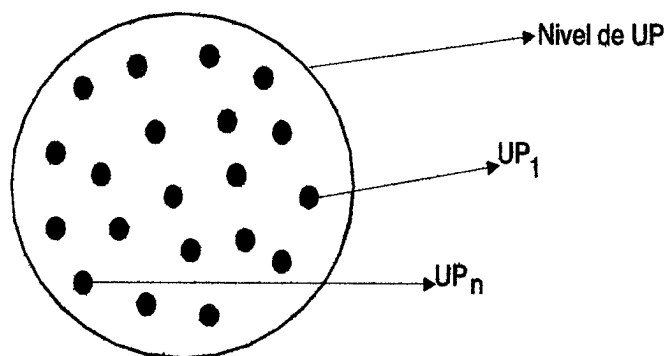


Figura 2.4: Nivel de UP visto como un objeto.

Asimismo, el nivel de equipo también es un objeto, que recibe mensajes del nivel de Unidades de Producción y de acuerdo a éstos, realiza sus funciones. Este nivel también es compuesto, ya que está conformado por diferentes equipos, los cuales a su vez pueden ser vistos como objetos (ver figura 2.5).

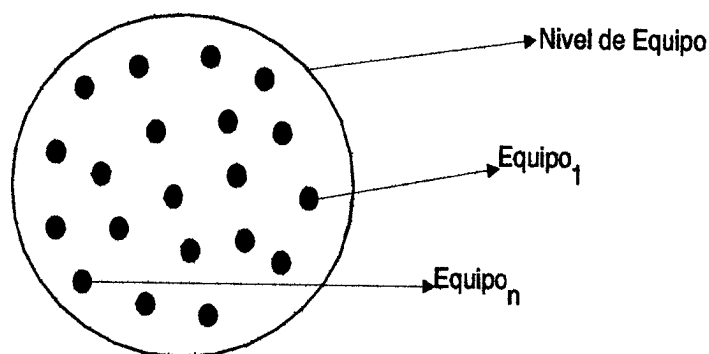


Figura 2.5: Nivel de Equipo visto como un objeto.

De acuerdo con esta metodología, se puede definir el modelo de negocios de la empresa representado en la figura 2.6, utilizando los niveles propuestos en el modelo de automatización integrada, considerando cada uno de estos niveles como un objeto identificable y encapsulado, y que representa el proceso de toma de decisiones mediante SDED.

2.4 Modelo de la Unidad de Producción según Chacón y otros

Según Chacón y otros (2000a), el componente básico en la automatización integrada de complejos de producción continua, es la unidad de producción (UP), definiendo una UP como un objeto autónomo, que toma decisiones internas para cumplir con una misión asignada por los niveles superiores en una jerarquía de producción haciendo un uso óptimo de los recursos, es decir, su función principal es la de elaborar un producto a partir de materia prima, energía y órdenes de producción (ver figura 2.7).

Los mismos autores (2000a), afirman que la UP es la unidad de transformación

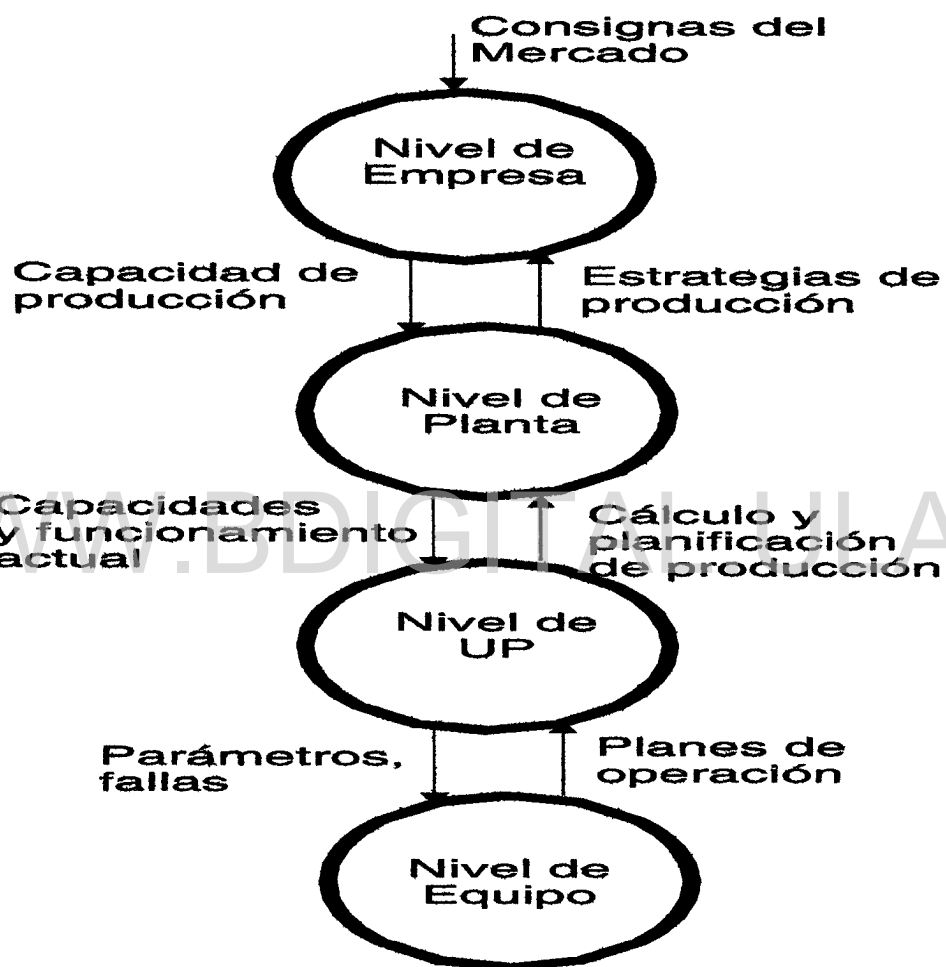


Figura 2.6: Modelo de negocios de la empresa.

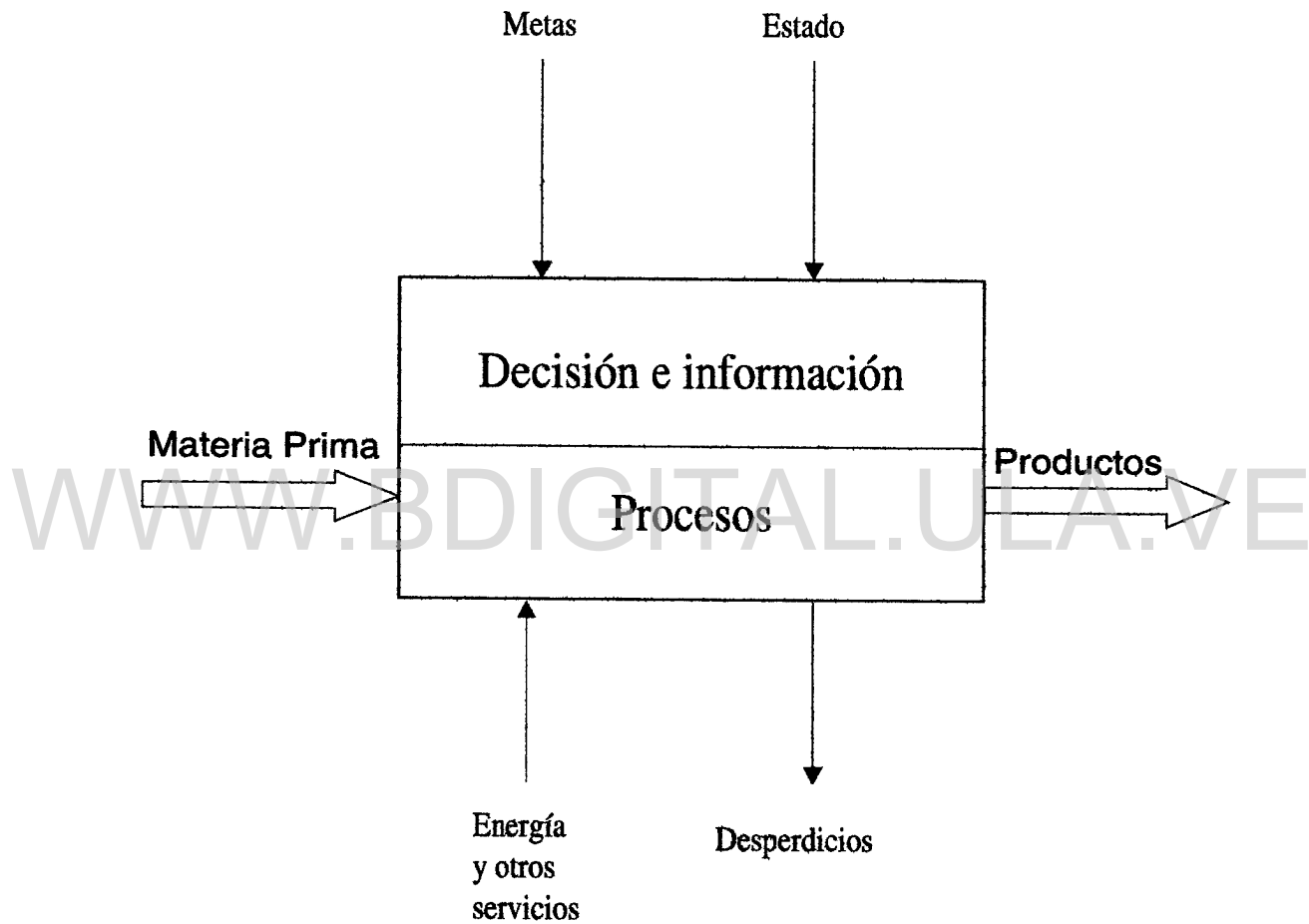


Figura 2.7: Unidad de Producción.

central de la arquitectura organizacional de un complejo de producción continua, el cual está compuesto por un conjunto de unidades de producción, y que además, la empresa y un complejo de producción pueden ser vistos como una unidad de producción.

Una UP está compuesta de ciertos elementos, tales como:

1. **Sistemas Decisorios:** Definidos en el Capítulo I, son sistemas que ejecutan actividades lógicas de control y toma de decisiones, para asegurar el comportamiento deseado para la UP y por ende, la elaboración del producto en condiciones óptimas.
2. **Procesos Físico-Químicos:** Los procesos que transforman las entradas en salidas. Estos procesos están influidos por la capacidad de producción y el funcionamiento actual de la UP. Los sensores y actuadores, ligados directamente a estos procesos, permiten monitorear, controlar el proceso y tomar las decisiones imperativas que permitan llevarlo a su estado óptimo. Las entradas a estos procesos están representadas por la materia prima y la energía, y las salidas por el producto elaborado y los desperdicios.
3. **Interfaces:** Sistemas y/o procesos que permiten el intercambio de información, productos y servicios con el ambiente.
 - **Interfaz de Control:** Permite la comunicación del proceso físico con el sistema decisorio, dada por los sensores y actuadores. También permite la comunicación con el operador, en caso que el sistema no esté totalmente automatizado.
 - **Interfaz de Información:** Permite la comunicación con los niveles superiores, recibiendo las órdenes y lineamientos de producción e informando sobre el estado de la producción, las condiciones de operación y limitaciones. Permite además, solicitar los recursos necesarios para la ejecución de la producción.

- **Interfaz de Materiales:** Permite el intercambio con el ambiente de solicitud y recepción de materia prima y energía, y la salida del producto elaborado y los desperdicios.

Como ya se ha dicho, la UP no sólo tendrá como salida un producto, sino también desperdicios e información. Según Chacón y otros (2000b), esta información está constituida a su vez por objetos, y cita entre otros los siguientes:

1. **Objetos de Infraestructura:** Constituido por los objetos de información que comunican a los niveles superiores acerca de las capacidades de producción, fallas, disponibilidad, etc.
2. **Objetos de Interoperación:** Son los que permiten el intercambio de información entre la UP y el ambiente. La UP le envía a éste último el estado y recibe del mismo metas de producción, órdenes de producción y especificaciones de productos. El ambiente está constituido por los niveles superiores. Algunos de estos objetos afectan el estado de la UP.

Por lo anteriormente dicho, es necesario modelar la Unidad de Producción, a fin de modelar la empresa. Este modelo debe representar el trabajo de la organización, ejecutando los procedimientos que se llevan a cabo en la misma de acuerdo a un orden determinado de tareas y una asignación de tiempo y recursos.

Capítulo 3

MODELADO DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN MEDIANTE REDES WORKFLOW

Los procesos de negocios están centrados en procedimientos. Un procedimiento es el método de operación usado por un proceso de negocios para procesar casos. El procedimiento especifica el conjunto de tareas requeridas para procesar tales casos exitosamente. Más aún, el procedimiento especifica el orden en el cual las tareas deben ser ejecutadas. El objetivo de un procedimiento es manejar los casos eficiente y apropiadamente. Para lograr esto, el procedimiento debe ser capaz de adaptarse al ambiente cambiante de los procesos de negocios. Los sistemas gerenciales de Workflow y la Reingeniería de Procesos de Negocios son las palabras claves precursoras de una nueva era de cambios frecuentes y/o radicales de procedimientos existentes. (Aalst, 2000a: 1)

Modelar una empresa mediante la aplicación de workflows permite controlar, monitorear, optimizar y apoyar los procesos de negocios. A su vez, las Redes de Petri dentro de este contexto permiten verificar la exactitud de los procesos simulados en workflow. En este capítulo se discutirá el uso de las Redes de Petri en el contexto de Workflows.

3.1 WorkFlows

Aplicado a la industria, el Workflow (entendido como el flujo de procesos administrativos o de negocios), es una herramienta que permite integrar la información de cada uno de los procesos de negocios de la organización y de esta manera controlar el proceso total, el cual es denominado por Aalst y otros (2000b) como procedimiento. Básicamente, el procedimiento es un conjunto de tareas parcialmente ordenado.

En el Modelado de negocios se denomina a estos procedimientos como Procesos de Negocios. Zwegers y otros (1997) los definen de la misma forma, denominando a su vez a las tareas como Actividades de la Empresa.

Anteriormente estas tareas se realizaban independientemente, y como resultado, se tenían “islas” de información que resultaba difícil de conectar. Los workflows de hoy, describen el trabajo de la organización en pleno, definiendo la interconexión existente entre los diferentes departamentos que componen a la empresa, y a su vez, la de ésta con el mundo externo.

Los workflow se diseñan para asegurar que las tareas son realizadas por el(los) recurso(s) correcto(s) en el momento exacto, en un intervalo de tiempo predeterminado y están basados en casos, es decir, cada evento se dispara al existir una solicitud de parte de un cliente, interno o externo a la organización. Estas tareas pueden ser opcionales u obligatorias y pueden ejecutarse en orden secuencial o paralelo.

Los recursos que ejecutan una tarea se ocupan desde el comienzo hasta el fin del intervalo de tiempo asignado a la misma.

Los recursos pueden agruparse en estructuras similares y formar clases de recursos. En la realización de una tarea puede no interesar qué recurso la está ejecutando, pero sí su clase. Es por esta razón que las clases de recursos están ligadas a las tareas: de esta manera el sistema de workflow puede escoger cualquiera de los recursos de cierta clase para ejecutar una tarea.

Sin embargo, el manejo de los recursos ocurre fuera del sistema de workflow, es decir, el proceso de asignación de recursos en sí no es parte del mismo. Este proceso de asignación de recursos a una tarea específica es realizado por uno o más

manejadores de recursos. Un manejador de recursos puede ser una persona o un sistema de computación.

Un sistema de workflow contiene además de los recursos y tareas, actividades de control, las cuales enrutan las tareas de forma sincronizada dentro del procedimiento.

Sin embargo, no todos los procesos de negocios pueden modelarse mediante workflow. Un proceso workflow se caracteriza por poseer tres cualidades. Primero que todo, un proceso workflow está dado por casos. Segundo, el proceso en sí se considera esencial. Tercero, el proceso debe poder ser definido de una manera explícita. (Aalst, 1998: 8)

En la actualidad, se ofrecen sistemas automatizados de workflow para las empresas, los cuales permiten definir y ejecutar workflows mediante una herramienta de software, cuyo orden de ejecución está dado por la lógica de los workflow mismos. Sin embargo, es posible tener el workflow de una empresa sin usar un sistema automatizado.

Existen muchas razones para apoyar los procesos de negocios mediante esta herramienta: Primero que todo, filosofías de gerencia tales como Reingeniería y Mejoras Continuas de Procesos estimulan a la organización para hacerlas más conscientes de los procesos de negocios. Segundo, las organizaciones de hoy necesitan entregar un amplio rango de productos y servicios [...] No sólo el número de productos y servicios se ha incrementado, sino que también el tiempo de vida de los productos y servicios ha decrecido [...] Como resultado, los procesos de negocios de hoy están también sujetos a frecuentes cambios. Más aún, la complejidad de tales procesos se ha incrementado considerablemente (Aalst, 1999: 99).

Es por estas razones que se justifica el uso del Workflow como una herramienta para modelar los procesos de producción de una empresa, siempre y cuando se cumpla en este contexto la propiedad de solidez, es decir, que para cualquier caso el proceso termine apropiadamente o en otras palabras que el término sea garantizado.

3.2 Redes de Petri

Las redes de petri constituyen un sistema lógico inventado por Carl Adam Petri en 1962.

1. Redes de Petri gráficas: Las Redes de Petri clásicas constituyen un grafo bipartito, con dos tipos de nodos llamados sitios y transiciones, los cuales deben conectarse sólo mediante arcos dirigidos. Los sitios se representan con círculos y las transiciones con cuadrados o líneas.

Un sitio p es denominado un sitio de entrada de una transición t sí y solo sí existe un arco dirigido de p a t . Un sitio p es denominado un sitio de salida de una transición t sí y solo sí existe un arco dirigido de t a p .

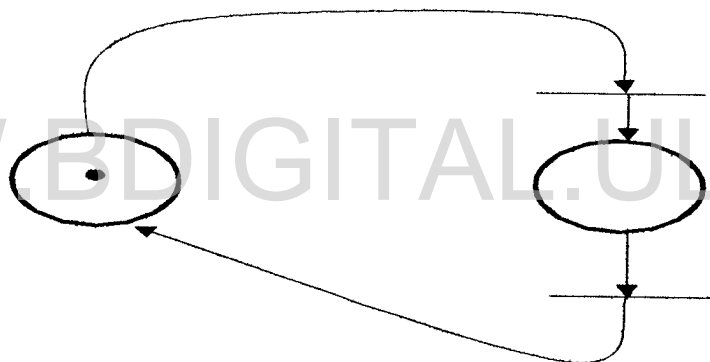


Figura 3.1: Red de Petri elemental.

Estos elementos pueden ensamblarse libremente y definir cualquier red de petri (red-p) deseada, siempre que se sujeten a las siguientes reglas topológicas:

- Todo arco debe ir de una transición a un sitio y viceversa.
- Ningún arco puede ir de un sitio a otro o de una transición a otra.

En otras palabras, no se permiten las conexiones entre nodos del mismo tipo.

Las redes-p poseen, además, una regla de evolución determinada y un estado inicial. Este estado, también llamado marca, es la distribución de las fichas

sobre los sitios. Las fichas se representan mediante puntos negros, y su número puede variar durante la ejecución de la red.

Chacón (1993), afirma que el grafo que sigue los cambios de marcación de la red es el autómata finito asociado a la red.

Al modelar una Red de Petri, los lugares representan condiciones, las transiciones eventos y la presencia de por lo menos una ficha en un lugar (condición) indica que la condición se cumple. Un lugar puede tener ninguna, una o más fichas. Las transiciones son los componentes activos en una Red Petri, ellas cambian el estado de la red de acuerdo a las siguientes reglas de disparo:

- Una transición t es llamada sensibilizada sí y sólo sí cada sitio de entrada p de t contiene al menos una ficha.
- Una transición sensibilizada puede dispararse. Si una transición t se dispara, entonces t consume una ficha de cada sitio de entrada p de t y produce una ficha para cada sitio de salida p de t .

Un disparo de una transición significa un cambio en el estado de la red.

También en una red de petri puede ocurrir una sucesión de disparos: al sensibilizarse la primera transición de acuerdo a la primera marcación se dispara la segunda transición, este disparo sensibiliza la siguiente transición y así sucesivamente.

Se dice que una marca (estado) M_n es accesible desde una marca (estado) inicial M_1 , si existe una sucesión de disparos x que alcance M_n .

2. Representación Matricial: Una red de petri también puede representarse mediante el uso de matrices. Para este efecto, se define:

- Una matriz de entrada: o matriz E de dimensión $n \times m$, donde n representa el número de sitios y m el número de transiciones. Si el elemento $E_{ij} = 0$, esto significa que no existe ningún arco que conecte el sitio i con la

transición j . Si $E_{ij} > 0$, este valor representa la ponderación del arco que conecta al sitio i con la transición j .

- Una matriz de salida: o matriz S de dimensión $n \times m$, donde n representa el número de sitios y m el número de transiciones. El elemento $E_{ij} = 0$ si el sitio i no es un sitio de salida de j . El elemento $E_{ij} > 0$ si el sitio i es un sitio de salida de j .
- Un vector de marca: o vector M de dimensión i , el cual indica la marcación de la red en un momento dado.
- Una Matriz de incidencia: o matriz V de dimensión $n \times m$ que representa el patrón de evolución de la red. Se obtiene por $V = S - E$.

3. Definición formal: Sea \mathbb{N} el conjunto de los números naturales. Se define una Red de Petri como una quintupleta (L, T, E, S, Mo) donde:

- L : Es un conjunto finito que representa los sitios de la red.
- T : Es un conjunto finito que representa las transiciones de la red ($L \cap T = \emptyset$)
- E : Función de entrada $E : T \times L \rightarrow \mathbb{N}$, representa los sitios de entrada de una transición t .
- S : Función de salida $S : T \times L \rightarrow \mathbb{N}$, representa los sitios de salida de una transición t .
- Mo : representa la marca o estado inicial de la red $Mo : L \rightarrow \mathbb{N}$.

3.2.1 Tipos de Redes de Petri

1. Redes de Petri ordinarias: Son aquellas redes-p para las que se cumple lo siguiente:

- Los arcos que unen los sitios de entrada de una transición t con esta última tienen una ponderación máxima de 1.

- Los arcos que unen los sitios de salida de una transición t con esta última tienen una ponderación máxima de 1.
2. Redes de Petri generalizadas: Son aquellas redes-p para las que se cumple lo siguiente:
 - Los arcos que unen los sitios de entrada de una transición t con esta última tienen una ponderación mayor que 1.
 - Los arcos que unen los sitios de salida de una transición t con esta última tienen una ponderación mayor que 1.
 3. Redes de Petri sin lazo: Es aquella red-p donde se cumple que ningún sitio será a la vez entrada y salida de una transición, es decir, que los sitios de entrada de una transición son distintos a sus sitios de salida.
 4. Redes de Petri con lazo: Es aquella red-p donde se puede darse el caso que algún sitio sea a la vez entrada y salida de una transición.
 5. Grafo de eventos: Es una red-p ordinaria que satisface la siguiente condición: Todo lugar $l_j \in L$ tiene una sola transición de entrada y una sola transición de salida.
 6. Máquina de estados: Es una red-p ordinaria que satisface lo siguiente: Para toda transición t_i existe un solo lugar de entrada y un solo lugar de salida.
 7. Redes de libre escogencia: Son redes-p ordinarias en las cuales se cumple que todo arco que sale de un lugar l_i a una transición t_j es el único arco que sale de dicho sitio o el único arco que entra a dicha transición.
 8. Redes de alto nivel: Las redes de petri que describen sistemas reales tienden a ser largas y extremadamente complejas. Por esta razón muchos autores proponen extensiones al modelo clásico, entre otras, añadiendo color, tiempo y jerarquía. En una red coloreada cada ficha tiene un valor referido como un color. En el próximo capítulo se elaborará un modelo utilizando esta extensión.

En caso que el lector esté interesado en observar gráficamente los tipos anteriormente descritos, diríjase a Chacón, E. (1993). Redes de Petri. Cuadernos de Control. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

3.2.2 Propiedades de las Redes de Petri

- Definición 1 (Viviente): Una red de petri se dice viviente si y solo si para cada estado alcanzable M' y cada transición t , existe un estado M'' alcanzable desde M' activando t .
- Definición 2 (Acotada, segura): Una Red de Petri es acotada si y solo si para cada sitio p existe un número natural n tal que para todo estado alcanzable el número de fichas en p es menor que n . La red es segura si y solo si el número máximo de fichas por cada sitio no excede 1.
- Definición 3 (Fuertemente conectada): Una red de petri está fuertemente conectada si y sólo si para todo par de sitios (o transiciones) x y y , existe un camino que conduzca de x a y .

La primera definición asegura la ausencia total de bloqueos, la segunda que el número de estados posibles sea finito y la tercera que una red puede volver siempre al estado de reposo independientemente de la evolución que haya tenido el sistema.

3.3 Redes WorkFlow

El workflow detalla el flujo de trabajo de un proceso, especifica cuáles tareas deben ejecutarse y en qué orden, y provee una vista centrada en el proceso. Este a su vez, puede estar definido en términos de Redes de Petri, las cuales son una técnica muy conocida para modelar y analizar procesos.

Al aplicar la metodología de redes de petri dentro del contexto del workflow, se define una nueva técnica para monitorear, analizar y controlar procesos de negocios: las Redes Workflow.

Aalst (1998), afirma que el workflow en la dimensión del proceso, especifica qué tareas deben ser ejecutadas y en qué orden. Modelar una definición del proceso en workflow, y en términos de una red de petri es directo: las tareas y actividades de control se modelan mediante las transiciones, las condiciones y relaciones de precedencia con sitios, y los casos mediante las fichas. Una red de petri que modele una definición de un proceso mediante workflow es llamada una Red Workflow (Red-WF). Una Red-WF debe satisfacer tres requerimientos: Primero que todo, debe tener un sitio de entrada y uno de salida. Una ficha en i corresponde a un caso a ocurrir (sitio de entrada), una ficha en o corresponde a un caso que ya ocurrió (sitio de salida). Segundo, en una red-WF no existen bloqueos de tareas y/o condiciones. Todas las tareas (transiciones) y condiciones (sitios) deben contribuir al procesamiento de los casos. Tercero, todas las transiciones deben estar en el camino que se dirige de un sitio de entrada i , a otro de salida o .

No obstante, el mismo autor señala una cuarta propiedad que debe ser satisfecha: el modelado de cualquier proceso de negocios se inicia al colocar una ficha en i , y termina cuando exista una ficha en o , y todos los demás sitios estén vacíos (Propiedad de Robustez). Además, el parcial ordenamiento de todas las subtareas (transiciones) que conforman a esta tarea, está modelado por sitios que conectan esas subtareas (transiciones).

Nótese que los tres primeros requerimientos son estáticos, relacionados con la estructura de la red-p, mientras que el último se relaciona con la dinámica de la red-WF.

Se puede definir, entonces, a las Redes Workflow de la siguiente manera:

Definición: Una red petri $(PN)=(P,T,F)$ es una red workflow (Red-WF) si y sólo si:

1. PN tiene dos sitios especiales: i y o . Un sitio i es un sitio de entrada, con ningún arco de entrada. Un sitio o es un sitio de salida, con ningún arco de salida.
2. Si añadimos una transición t^* a PN que conecte el sitio o con i (es decir, el sitio de entrada de $t^* = o$, y el sitio de salida de $t^* = i$), entonces la red resultante

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

está fuertemente conectada.

3.3.1 Relaciones entre las Redes WorkFlow y la Orientación a Objetos

Entre ambas metodologías existe una correspondencia, a saber:

1. Las transiciones pueden ser vistas como métodos
2. Los sitios como tareas o recursos
3. Las fichas intercambiadas entre las tareas, o tareas y recursos (o manejadores de recursos) pueden verse como mensajes o solicitudes de servicio.
4. Cada evento se dispara al existir una solicitud de parte de un cliente, y cambia el estado del sistema.
5. Los recursos se clasifican en clases de acuerdo a sus métodos, al igual que en la metodología de objetos. Es por esta razón que las clases de recursos están ligadas a las tareas.

3.4 Modelo Dinámico de la Unidad de Producción en Redes-WF

De acuerdo a lo anteriormente dicho, este trabajo propone el siguiente modelo de la unidad de producción, extensible a la empresa, basado en el modelo propuesto por Chacón y otros (2000b).

Este modelo, representado en la figura 3.2, sigue el siguiente comportamiento:

El proceso de encuentra en un estado de espera. Al llegar una Orden de Producción, se inicializa el proceso. Si ocurre alguna falla al inicio, se ejecuta la tarea de Mantenimiento y al solucionarse el problema el proceso vuelve a su estado de inicialización. En caso contrario, es decir, si la inicialización fue exitosa, el proceso es

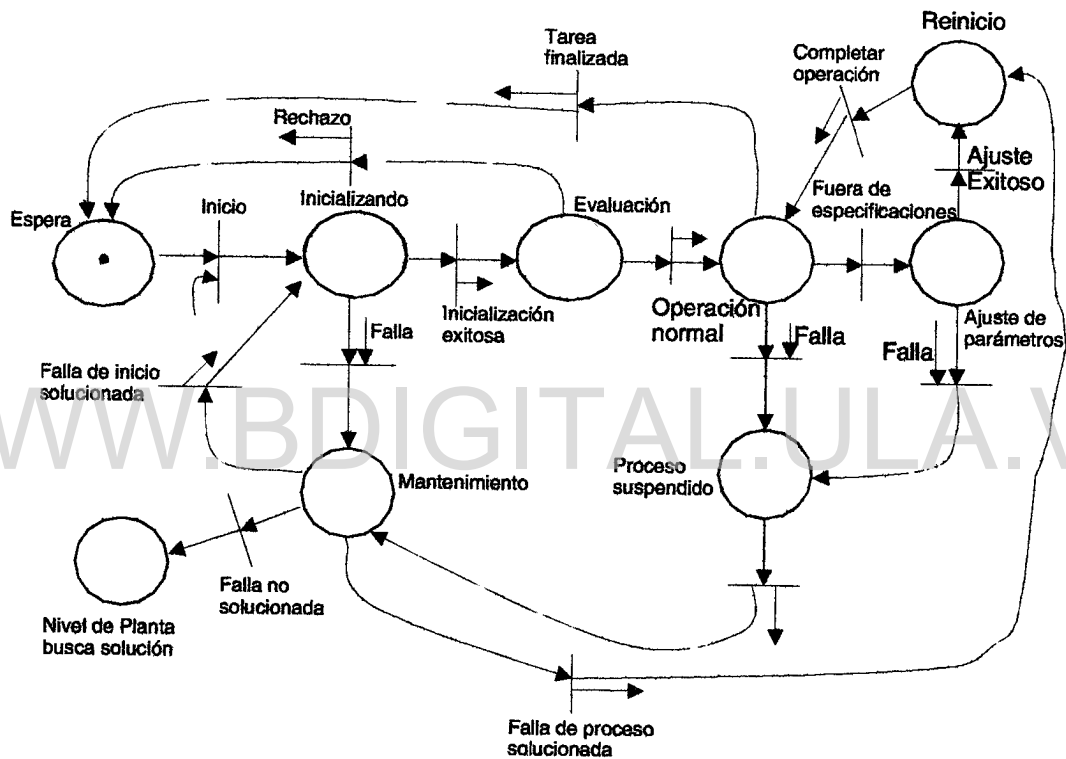


Figura 3.2: Modelo Dinámico de la Unidad de Producción.

sometido a una evaluación para determinar de acuerdo a las capacidades y funcionamiento actual, si la unidad de producción puede o no ejecutar la misión. En caso de no poder hacerlo, se dispara la transición de rechazo y el sistema vuelve al estado de espera. En caso contrario se dispara la transición de aceptación, y se ejecuta el proceso en condiciones normales, representado por el sitio Operación Normal.

Si en algún momento una variable sale de sus límites de operación, hay un cambio en el modo de operación y/o se reciben consignas de control, se dispara la transición Fuera de Especificaciones, y el proceso pasa a un estado de Ajuste de Parámetros, si el ajuste es exitoso el proceso pasa a un estado de Reinicio y posteriormente pasa a completar la operación suspendida en Operación Normal. Si por el contrario, el ajuste no es exitoso y ocurre una falla que no pueda ser controlada, se dispara la transición Falla y se interrumpe el proceso (sitio Detener Proceso).

Sin embargo, una falla también puede ocurrir cuando el sistema está en Operación Normal. Si esto ocurre, se dispara la transición Falla y se ejecuta la tarea Detener Proceso. En este momento, el proceso se vuelve inactivo y se ejecuta la tarea de Mantenimiento.

Al terminar de ejecutarse la tarea de Mantenimiento, se dispara la transición Falla de Proceso Solucionada, el proceso pasa por un estado transitorio (Reinicio), el proceso se reinicializa y vuelve al estado de Operación Normal a completar la operación interrumpida.

Cuando la tarea Operación Normal es finalizada, se dispara la transición Tarea Finalizada, y el sistema vuelve al estado de Espera hasta que se recibe una nueva Orden de Producción.

Las fallas que pueden presentarse en el proceso de producción, y representadas en el Modelo de la Unidad de Producción pueden producirse por:

1. Fallas en los recursos: No hay recursos disponibles.
2. Fallas en los equipos: Se deben principalmente a dos razones a saber:
 - No hay equipos disponibles, o

- Existen fallas intrínsecas a los equipos mismos que causan la interrupción del proceso de producción.
3. Falla de materiales: No hay disponibilidad de materia prima.
 4. Falla de energía: No hay disponibilidad de energía.
 5. Fallas de Almacenamiento.

Indudablemente cada tarea tiene su propio comportamiento. Sin embargo puede definirse un modelo representativo de las mismas independientemente de su tipo, ya que todas tienen características comunes:

- Tienen un comienzo.
- Ejecutan una actividad definida.
- Usan recursos para ejecutar dicha actividad.
- Tales recursos son solicitados por las mismas, y asignados o denegados a éstas en caso de no estar disponibles.
- Llegan a un final.

De acuerdo a esto, este trabajo adopta la Estructura de una Tarea planteada por Aalst y otros (2000b: 6) para modelar el comportamiento de las mismas (ver figura 3.3).

La tarea se inicia en el sitio Comienzo Tarea. Al dispararse la transición $t1$ se hace una solicitud de recursos. Cuando el recurso es asignado, se dispara la transición $t2$, llevando al sistema al estado $s2$ y disparando luego la transición $t3$, lo que da inicio a la ejecución de la tarea. Al finalizar la tarea, se le informa al sistema, este evento dispara la transición $t4$, llevando al sistema al estado $s4$, y disparando luego la transición $t5$, lo que permite liberar el(los) recurso(s) y llegar al fin de la tarea.

La asignación de recursos es indispensable para la ejecución de las tareas. Por lo tanto, debe implementarse un Controlador que se encargue de realizar esta operación,

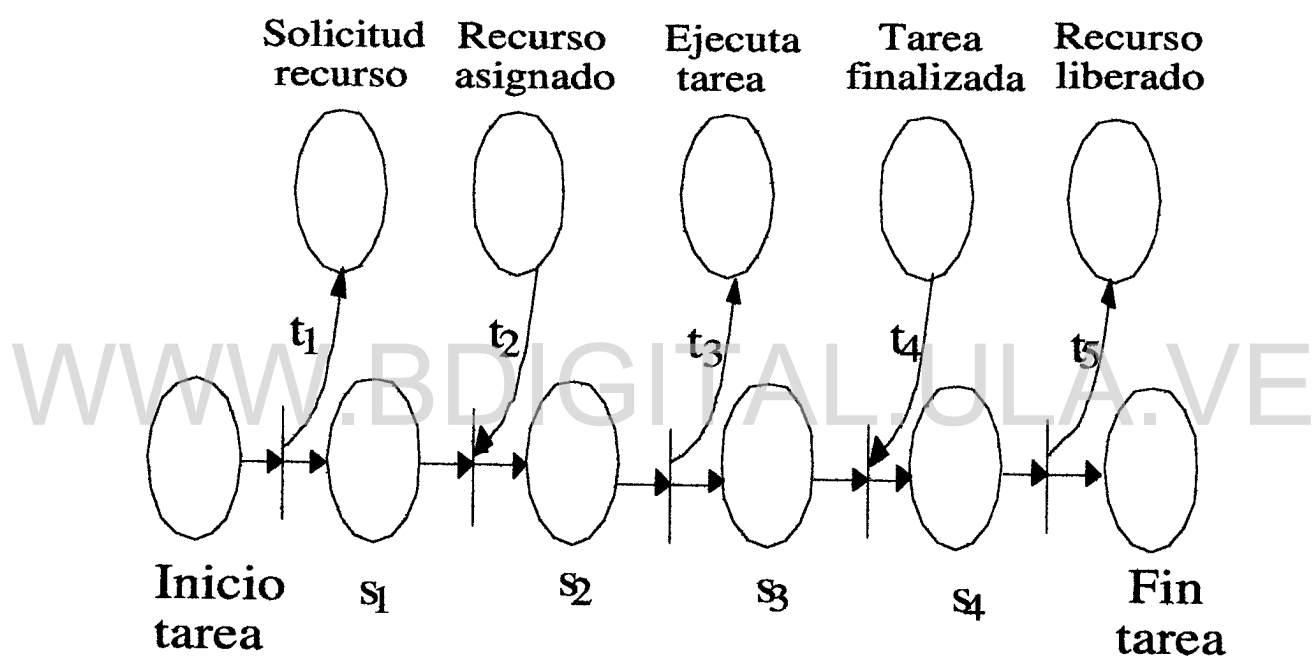


Figura 3.3: Modelo de las Tareas según Aalst y otros (2000b).

entre otras. Este trabajo propone que el Controlador posea la siguiente dinámica del manejo de recursos:

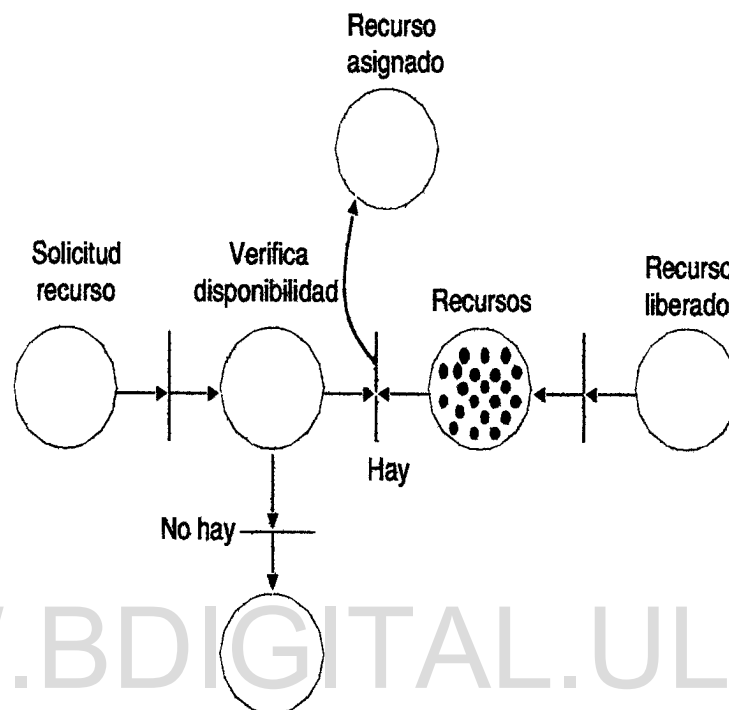


Figura 3.4: Dinámica del Controlador en el Manejo de Recursos.

En esta red se recibe una solicitud de recursos. Se evalúa la disponibilidad del recurso solicitado y de acuerdo a la misma se dispara la transición Hay o No hay. Si hay recursos se dispara la transición Hay y se asigna el recurso solicitado. En caso de no haber disponibilidad, se dispara la transición No hay y se informa mediante el sitio Falla, el cual está conectado con la red que representa el Modelo de la Unidad de Producción (ver figura 3.2) mediante el sitio Falla. Se demuestra entonces, que la falta de disponibilidad de uno o más recursos representa una falla en el proceso de producción.

Estos recursos están directamente asociados con la producción, e incluyen máquinas, herramientas, equipos, documentos, energía, personal, materiales y todas aquellas entidades que deben estar disponibles para comenzar una tarea y/o para completarla.

En este modelo la ficha Recursos representa n recursos disponibles. Esta ficha se alimenta al liberarse un recurso en la red WF que representa el Modelo de las Tareas (ver figura 3.3), y se desabastece al asignarse un recurso a una tarea.

Pero como sabemos, también pueden presentarse otras fallas fuera de la falta de disponibilidad, intrínsecas a los propios recursos. Tales fallas pueden ser las siguientes:

- Daños en los equipos que imposibiliten su funcionamiento.
- Incapacidad de almacenamiento.

Estas fallas serán representadas en el siguiente Modelo de Fallas (ver figura 3.5), el cual se conecta con la red que representa el Modelo de la Unidad de Producción (ver figura 3.2) mediante el sitio Falla.

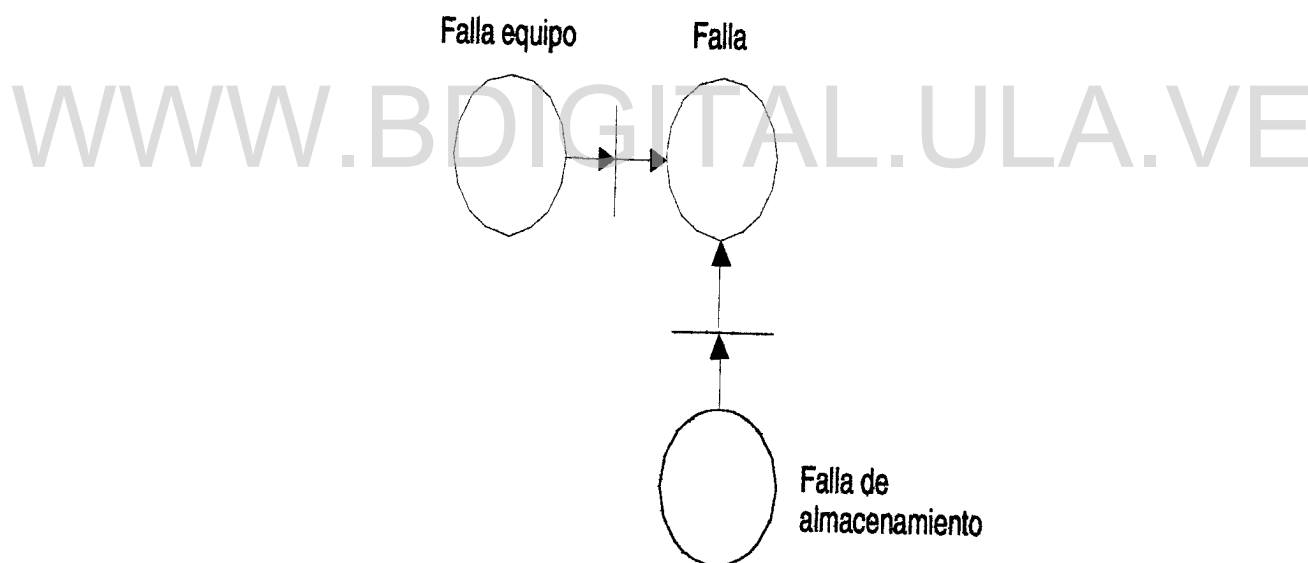


Figura 3.5: Modelo de Fallas.

Capítulo 4

DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE SUPERVISIÓN PARA UNA UNIDAD DE PRODUCCIÓN

Una arquitectura puede ser vista como un conjunto de especificaciones que expresa las funciones de los componentes que la integran y sus interacciones, para describir el comportamiento del proceso.

Según Zwegers y otros (1997) el propósito de una arquitectura es estructurar un sistema complejo. Mediante la descomposición funcional se elimina la complejidad del sistema y el mismo se hace más manejable.

Para cumplir con lo anterior, se hace necesario describir la estructura principal de objetos en el sistema a controlar, incluyendo tanto los atributos y métodos de cada objeto, como las relaciones entre los mismos.

Según el Object Management Group, Inc. (2000), el Unified Modeling Language (UML) es una técnica estándar orientada a objetos para la construcción de modelos, que permite especificar, visualizar, construir y documentar las partes que componen un sistema o una empresa. Cada uno de estos componentes pueden ser a su vez descompuestos en sub-componentes, hasta llegar al máximo nivel de descomposición.

El UML es un lenguaje gráfico, bien definido y ampliamente usado para describir

modelos de sistemas complejos. No es en sí una metodología, sino un conjunto de herramientas que pueden usarse para apoyar metodologías. Es independiente del proceso. Por esta razón tiene la capacidad de permitir la interoperabilidad entre diferentes dominios de la empresa, al usar los mismos tipos de diagramas en el contexto de procesos totalmente distintos.

Estas características hacen ver a este lenguaje como el más idóneo a la hora de crear el modelo de referencia de la Unidad de Producción propuesto por este trabajo, basado en los conceptos de la Metodología CIMOSA por proveer ésta, un ambiente consistente a la hora de modelar una infraestructura integrada.

Diferentes investigadores han aplicado la Orientación a Objetos en el modelado de sistemas de producción. Por ejemplo, Ou-Yang y otros (2000c) han desarrollado un Modelo de control de fábrica computarizado para un sistema CIM - usando una técnica de modelado orientada a objetos. Este modelo se aplica en el sistema CIM actualmente desarrollado en el Centro de Automatización y Control de la Universidad Nacional de Ciencia y Tecnología de Taiwan. Mize y otros (1992) citado por Ou-Yang y otros (2000c), han desarrollado un ambiente de modelado orientado a objetos (OOM) con programación orientada a objetos aplicada (OOP) y tecnologías relacionadas para modelar un sistema CIM. Los mismos autores citan otro trabajo realizado por Kim y otros (1996) dirigido a la aplicación de metodologías de programación orientada a objetos (OOP), en un sistema de despacho de fábrica. Los conceptos de orientación a objetos son usados en el modelado de las entidades principales, tales como partes, máquinas, control de fábrica y manejo de eventos. Cada entidad tiene ciertos atributos y métodos usados en las órdenes de producción.

4.1 Notación del UML

1. Componentes: Básicamente, un componente se representa mediante un rectángulo con tres compartimientos. El nombre del componente es escrito en el compartimiento superior, seguido de dos puntos y el tipo correspondiente. Ambos son opcionales, dejando al modelador más libertad, especialmente en las primeras

fases del diseño (Maier, 1997: 4-5). La figura 4.1 muestra los símbolos básicos.

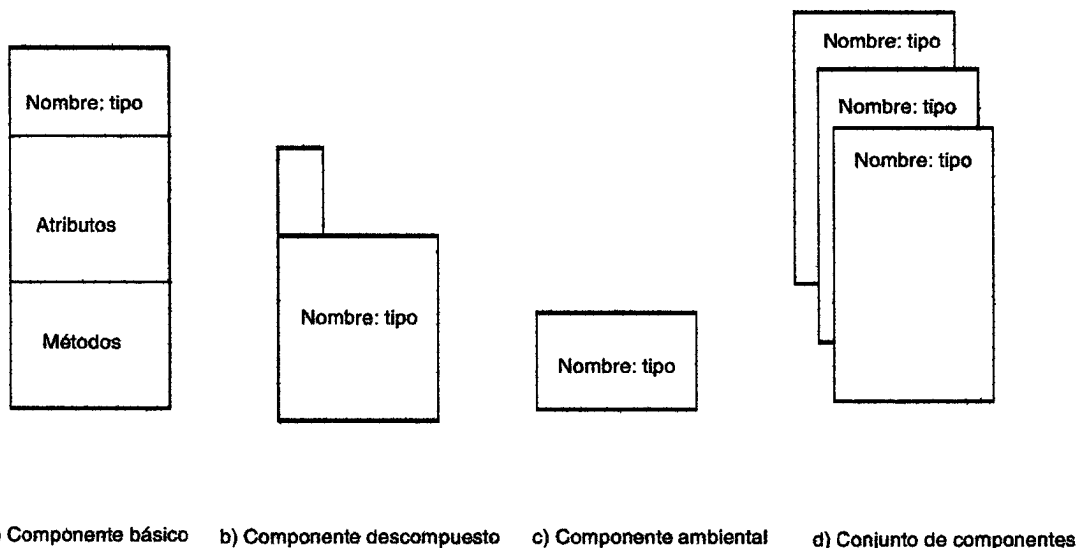


Figura 4.1: Componentes Básicos en UML.

La figura 4.1(a) representa un componente básico, la 4.1(b) un componente que será descompuesto, la 4.1(c) un componente perteneciente al ambiente de otro que ha sido descompuesto y la 4.1(d) un conjunto de componentes (que pueden ser de cualquier tipo de los anteriores).

2. Relaciones: Entre estos componentes existen relaciones. En el modelo propuesto se utilizan las siguientes:

a) Herencia y Generalización: Se usa en el caso que un componente (metaclase) sea descompuesto en uno o más subcomponentes (clases). Por ejemplo en la figura 4.2 , *Recurso* es la metaclase de las clases: *Equipos*, *Herramientas*, *Materia Prima*, *Personal* y *Energía* y otros servicios.

Estas clases no sólo heredan los atributos de la metaclase Recursos, sino que además tienen sus atributos propios.

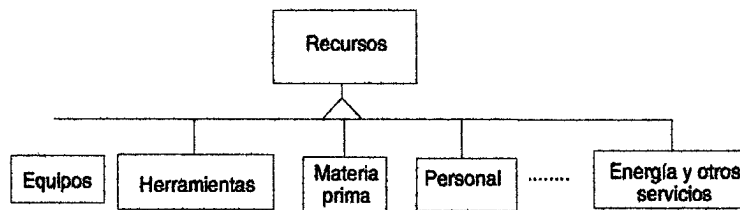


Figura 4.2: Herencia y Generalización.

b) Asociación: Muestra relaciones entre dos clases. Es la relación más usada, y significa que un componente puede acceder a otro. Para esto, el nombre usado para accederlo debe escribirse encima del arco y cerca del componente fuente (ver figura 4.3).

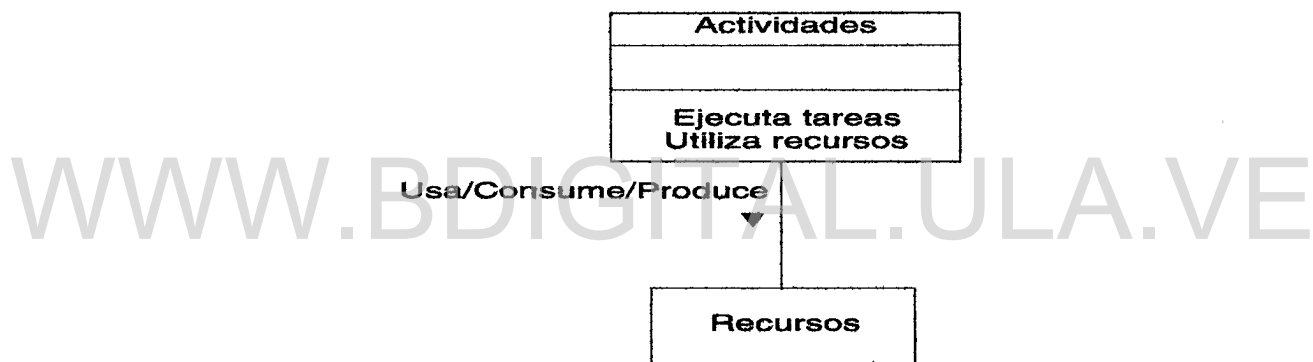


Figura 4.3: Asociación.

c) Agregación: Describe la relación “es parte de” entre una clase y sus componentes. Su notación es un diamante que enlaza las clases relacionadas. En la figura 4.4 se observa que la clase Actividades es parte de la clase Procesos.

d) Relación de evento: Es una relación de uso más especializada, y se usa para señalar cómo ciertos eventos afectan algún componente. El evento especifica la interfaz que un componente espera de otro. Se representa mediante una flecha con un zig - zag, y el nombre del evento en cursiva, seguido de dos puntos y parámetros opcionales (ver figura 4.5).

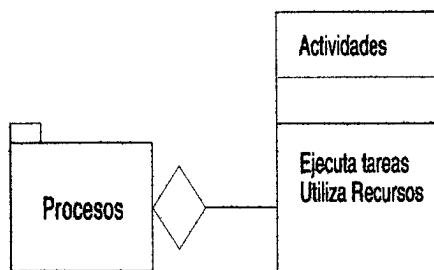


Figura 4.4: Agregación.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

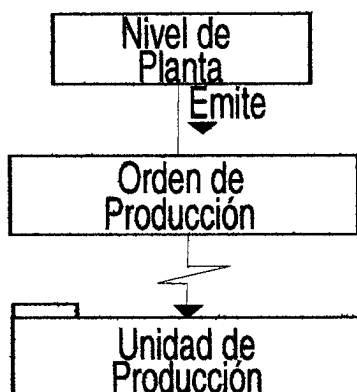


Figura 4.5: Relación de evento.

4.2 Metodología CIMOSA

Comenzando como una iniciativa de la Comisión de la Comunidad Europea, con el fin de contar con una arquitectura de referencia para los sistemas de manufactura, compañías europeas y americanas iniciaron la definición de CIMOSA - Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture - en 1986. El objetivo de CIMOSA es el de proveer una arquitectura abierta, que permita la realización permanente de cambios en el ambiente de negocios, así como la definición de estándares para la integración de sistemas heterogéneos.

En este orden de ideas, Zwegers y otros (1997) en su Evaluación de Diseño de Arquitecturas con CIMOSA, definen cuatro diferentes vistas para modelar completamente los aspectos específicos de una empresa:

1. **Vista Función:** Describe las reglas que definen el flujo de acción dentro de la empresa. Representa el comportamiento del proceso en términos de su descomposición funcional, flujos y comportamiento de las actividades. Modela todo el contexto en el cual actúa el proceso.
2. **Vista Información:** Su propósito es el de capturar la información requerida por una empresa particular, con el fin de permitir la identificación de:
 - **Objetos de la empresa:** Es una construcción que describe las entidades generales de una empresa (es decir, las cosas que pueden ser vistas como un todo) caracterizadas por sus propiedades descriptivas.
 - **Vistas de Objeto:** Es la descripción de un aspecto en particular de un Objeto de la empresa. Comprende un conjunto de propiedades propias de un Objeto de la empresa desde cierto punto de vista.
 - **Elementos de información:** Se utiliza para representar un item de información, el cual es indivisible.
3. **Vista Recurso:** Contiene toda la información relevante sobre los recursos de la empresa. Los recursos son vistos como los bienes de la empresa, representan

objetos costosos de duplicar y necesitados para dar apoyo a las actividades de la empresa.

En otras palabras, esta vista define el enlace entre los recursos y todas las capacidades - necesarias para la ejecución del proceso - provistas por tales recursos.

4. Vista Organización: Describe la estructura organizacional de la empresa. Representa la organización responsable del proceso en términos de manejo de excepciones y control de los recursos. Es una aplicación de alto nivel, que modela toda la organización (la empresa, la fábrica, el departamento, etc.) relacionada con el proceso. Está compuesta de un actor que modela la unidad responsable del proceso (el dueño, el gerente de planta, el gerente de producción u otro) y algunas aplicaciones de bajo nivel que modelan las tareas de los procesos.

Este trabajo se enfoca principalmente en la Vista Función, ya que al modelar la Unidad de Producción mediante UML, las Vistas Información, Recursos y Organización quedarán implícitas por la orientación a objetos del lenguaje utilizado.

En la Vista Función se debe definir como primer paso el **Dominio**, el cual es una construcción que define la parte de la empresa responsable de alcanzar un conjunto definido de objetivos de negocios. Este dominio especifica el alcance y los componentes del modelo particular de esa parte de la empresa.

El Dominio se define por sus funciones, llamadas Procesos de Dominio. Según Zwegers y otros (1997) en la metodología CIMOSA un proceso de una parte de la empresa puede ser representado mediante un “árbol de descomposición de funciones”, el cual tiene en su inicio un proceso de dominio, que sólo será disparado por un evento. Este proceso de dominio puede contener uno o más procesos de negocios, los cuales pueden contener a su vez una o más actividades (ver figura 4.6).

Un proceso de negocios es llamado por su proceso padre (que puede ser el proceso de dominio u otro proceso de negocios), y genera un estado final del proceso. De aquí en adelante se denotarán los procesos de negocios como procesos.

Las actividades son las tareas elementales, operan sobre objetos y describen las

acciones u operaciones requeridas para producir las salidas a partir de las entradas. Representan la funcionalidad de la empresa.

El comportamiento del proceso se describe por un conjunto de reglas, que definen las secuencias de operación.

4.3 Arquitectura de la Unidad de Producción

Este trabajo aplica dos tipos de modelos para describir la Arquitectura de Supervisión para una Unidad de Producción: el Modelo de Objetos y el Modelo Dinámico.

El Modelo de Objetos describe la estructura principal de los objetos, incluyendo las entidades, atributos y métodos así como las relaciones entre los mismos.

El Modelo Dinámico describe la secuencia de estados del sistema en función de los métodos provistos por sus objetos.

4.3.1 Modelo de Objetos

El modelo propuesto y representado en las figuras 4.7, 4.8 y 4.9, es estandarizado y apoya el desarrollo de sistemas de control y supervisión mediante la construcción de componentes interoperables que muestran y manipulan la información de una manera unificada y claramente definida.

Como se verá más adelante, este modelo permite establecer la comunicación entre el Nivel de Empresa y el Nivel de Equipos del Modelo Jerárquico de Automatización.

Se define el Dominio de este Modelo Particular de la Empresa a la Unidad de Producción, por ser ésta la entidad responsable de ejecutar uno o más segmentos de producción del complejo.

El *Mercado* fija ciertas pautas a la hora de establecer las estrategias de producción debido a demandas a corto, mediano y largo plazo. Estas demandas conforman un evento que disparan la ejecución de las operaciones del Nivel de Empresa.

El *Nivel de Empresa* establece y ajusta las estrategias y los niveles de producción para satisfacer las demandas del mercado. No obstante, y como se mencionó en el Capítulo 1, estos planes estarán influidos por los mensajes provenientes del nivel

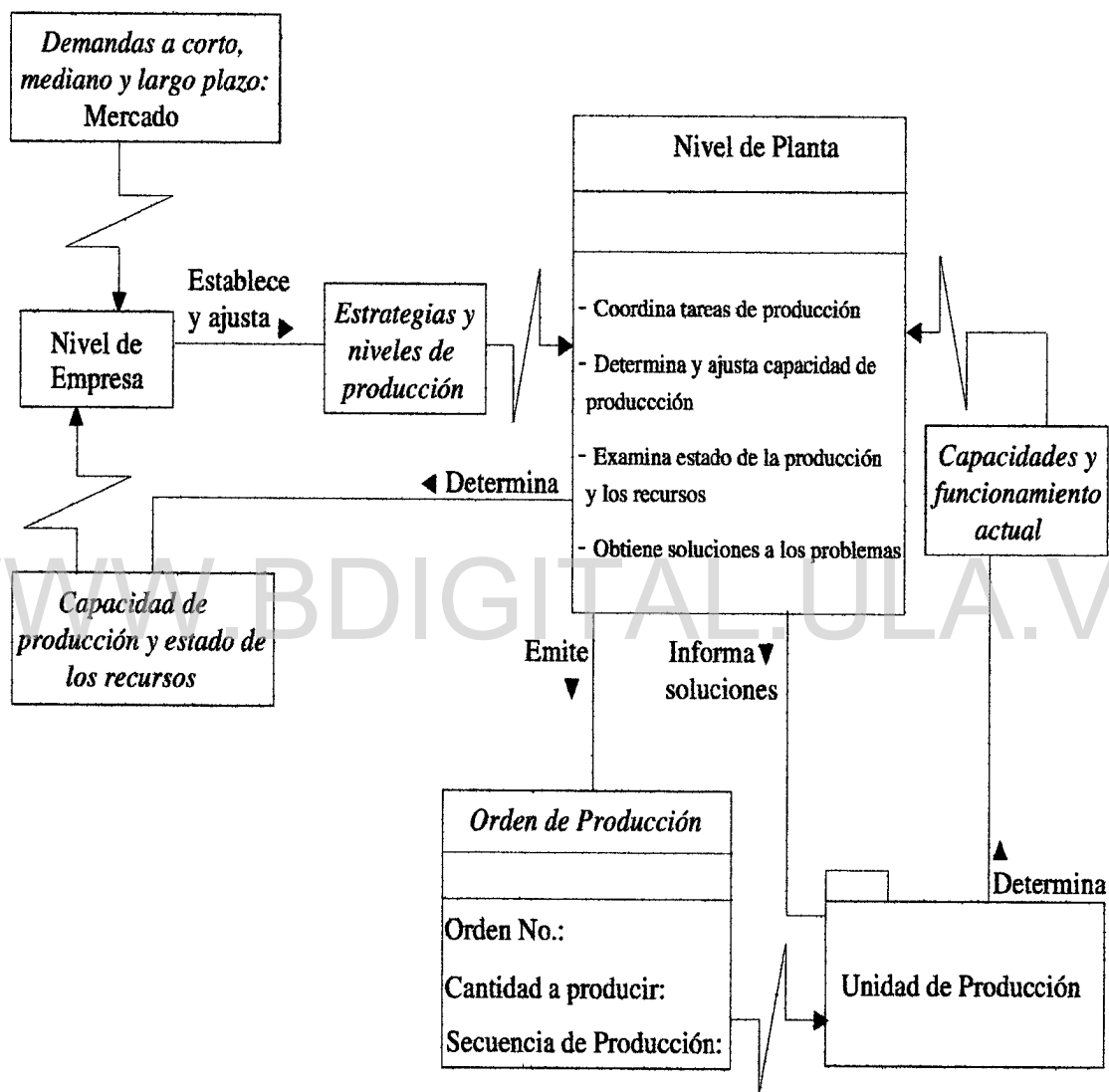


Figura 4.7: La unidad de producción y sus relaciones con el ambiente.

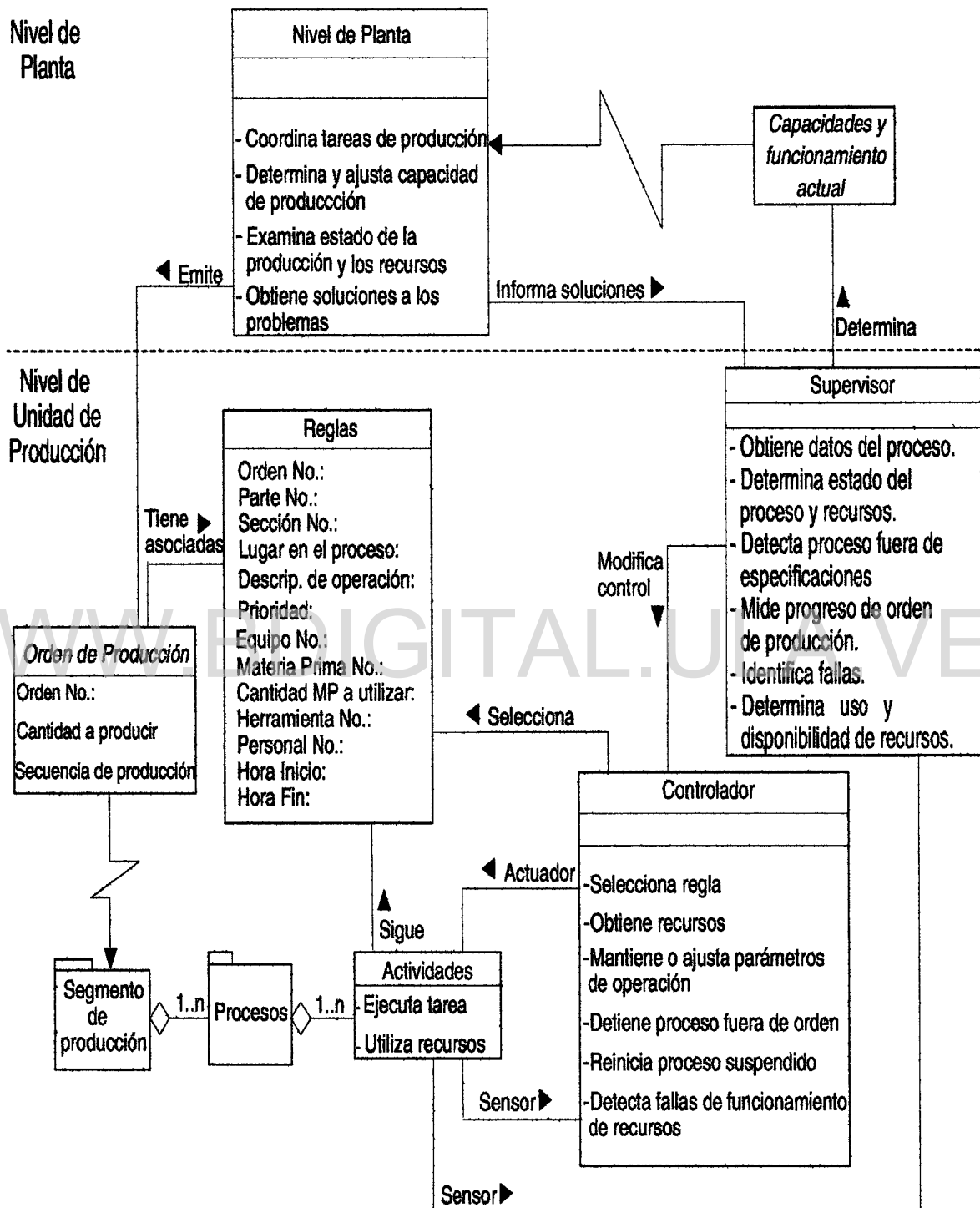


Figura 4.8: La unidad de producción (i).

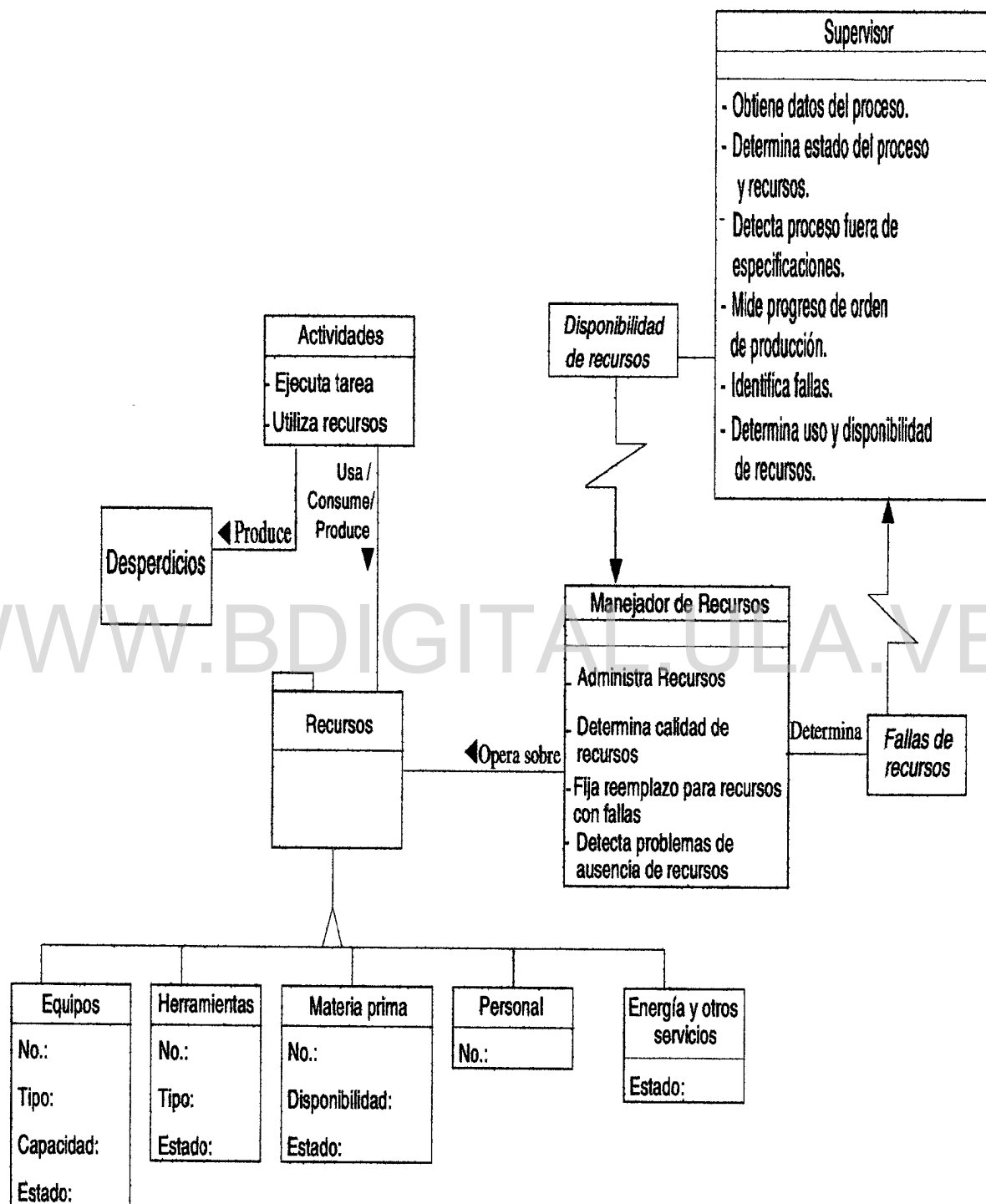


Figura 4.9: La unidad de producción (ii).

de planta, el cual determinará si la empresa puede continuar o no utilizando las estrategias de producción fijadas, de acuerdo a datos que reflejen la realidad del proceso. Esta retroalimentación entre el Nivel de Planta y el Nivel de Empresa se refleja claramente en el modelo propuesto.

El *Nivel de Planta* es responsable de coordinar las tareas de producción, determinar y ajustar la capacidad de producción, examinar el estado de la producción y los recursos, así como de obtener soluciones a los problemas que se presenten en la fábrica. Como se mencionó en el primer capítulo de este trabajo, este nivel determinará si la empresa puede continuar o no utilizando las estrategias de producción fijadas por el nivel empresa de acuerdo a los mensajes enviados por el nivel de Unidad de Producción con respecto a sus capacidades y funcionamiento actual.

La *Unidad de Producción* comprende uno o más *Segmentos de Producción*, cada uno de los cuales es disparado por un evento denominado *Orden de Producción*, y al ser visto como el Proceso de Dominio, puede contener uno o más *Procesos*, los cuales a su vez pueden contener una o más *Actividades*. Se hace evidente en el modelo propuesto, la naturaleza dinámica de la Actividad, acción primitiva básica transformacional de la Unidad de Producción, y mediante la cual se pueden representar todos los segmentos y procesos de producción de la UP.

Comprende además, un *Controlador* de proceso, el cual se encarga de seleccionar la próxima regla a ejecutar por la actividad, obtener los recursos que ésta última necesite, detener procesos fuera de especificaciones, mantener o ajustar los parámetros de operación, reiniciar procesos suspendidos, así como de detectar fallas de funcionamiento de recursos. Este *Controlador* se relaciona directamente con un *Supervisor*, el cual es el encargado de monitorear la ejecución de las actividades de producción, medir el progreso de la orden de producción, determinar el estado del proceso y de los recursos, detectar procesos fuera de especificaciones, determinar el uso y la disponibilidad de los recursos e informar al Nivel de Planta de todas aquellas fallas presentes en el proceso a través del evento *Capacidades y funcionamiento actual* de la Unidad de Producción. Procesa la secuencia de eventos de la UP para disparar otros eventos

o para llevarla a un estado deseado. Posteriormente el Supervisor recibirá del Nivel de Planta, soluciones a los problemas, así como ajustes en la producción e informará al Controlador sobre las acciones de control a ejecutar, mediante la relación *Modifica control*. Es indiscutible la relación de retroalimentación directa entre el Controlador y el Supervisor, y entre éste último y el Nivel de Planta. La arquitectura del Supervisor se muestra en la figura 4.10.

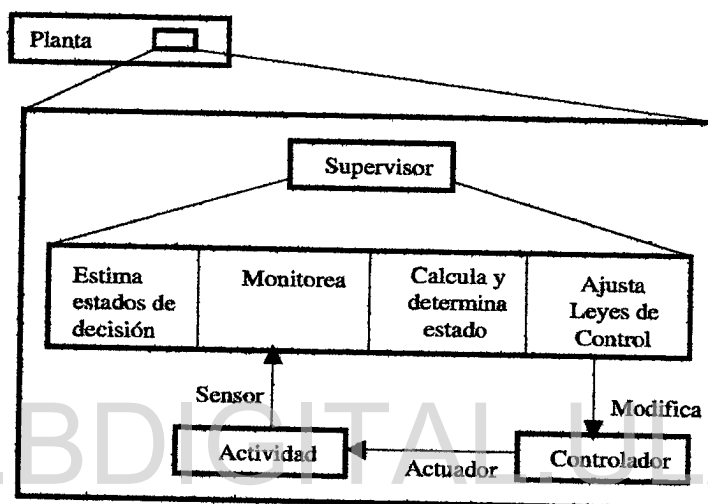


Figura 4.10: Arquitectura del Supervisor.

Como se dijo anteriormente, la Orden de Producción es emitida por el Nivel de Planta de acuerdo a las estrategias y niveles de producción fijados por el Nivel de Empresa, al recibir el evento *Demandas a corto, mediano y largo plazo* del Mercado. Esta Orden define la cantidad a producir y la secuencia de producción. Esta secuencia se refiere a la que debe seguir un conjunto de *Reglas* asociado con la Orden de Producción, que especifica los recursos a utilizar por la actividad, así como la hora de inicio y de finalización, esto último con el fin de que el *Controlador* comprometa los recursos para ejecutar la actividad. Para el caso en que existan actividades con paralelismo, y que a su vez utilicen la misma clase de recursos, se coloca el atributo *Prioridad*, el cual se refiere al orden de precedencia en que las mismas deben ejecutarse en caso de recursos insuficientes. Este atributo está dado por un número entero,

por lo tanto la actividad para la cual este atributo sea mayor que el de las otras, será la primera en ejecutarse; y lo mismo se cumplirá para la segunda, tercera, y así sucesivamente hasta completar las n actividades del proceso.

En el Modelo de Objetos, el Segmento de Producción comprende toda la *Orden de Producción*. Un Proceso está asociado con el código *No. Parte* presente en las Reglas, y las Actividades asociadas con cada Proceso con un *No. Sección*. Por ejemplo, en la *Orden No.:* A-100, existen n partes, de las cuales la *Parte No.:* 2 comprende los *No. Sección:* 2-1, 2-2, 2-3, ..., 2- n .

Como ya se mencionó, las actividades ejecutan su tarea utilizando Recursos. Se presenta por lo tanto, en el modelo, una asociación entre las clases Actividad y Recursos.

La clase *Recursos* es una metaclass que, siguiendo con la opinión presentada en el Capítulo III de este trabajo, se descompone en *Equipos, Herramientas, Materia Prima, Personal y Energía y otros servicios*, clases que heredan no sólo los atributos de la clase Recursos, sino que además tienen sus propios atributos.

Sobre los recursos actúa un *Manejador de Recursos*, quien se encarga de administrar los recursos, determinar su calidad, fijar reemplazos para recursos con fallas de funcionamiento, así como de detectar problemas de ausencia de recursos, estos problemas son enviados luego por él al Controlador.

4.3.2 Modelo Dinámico

Un componente importante a la hora de modelar es la capacidad de representar temporalmente, es decir, la capacidad de determinar el conjunto de estados posibles dado el estado actual.

Los componentes principales en un Modelo dinámico son los estados y los eventos.

Básicamente, un estado representa un conjunto de valores de los atributos de un objeto. Los objetos en un sistema estimularán a cada otro y causarán una serie de cambios en sus estados. Cada estímulo de un objeto a otro es llamado un evento. Para una clase dada, las series de transiciones de estado pueden representarse como un

diagrama de estados. El modelo dinámico está compuesto de un grupo de diagramas de estado. Cada diagrama de estado describe las actividades de una clase. Todos los diagramas de estado en un modelo dinámico pueden ejecutarse concurrentemente a través de eventos compartidos (Ou-Yang y otros, 2000 : 218).

Adoptando la opinión de estos autores, este trabajo propone los siguientes diagramas de estado de las clases principales del Modelo de Objetos de la Unidad de Producción, representados en Redes Workflow.

1. Diagrama de Estado de la clase Recursos: Se proponen los siguientes estados para los objetos Recursos:

- Disponible: Cuando el recurso está disponible y capacitado para ejecutar la acción.
- Comprometido: El recurso está comprometido con otra actividad.
- En servicio: Ejecutando una actividad actualmente.
- En Falla: Se encuentra en falla o mantenimiento.
- No disponible: Cuando el recurso no está disponible para ejecutar la actividad, debido a fallas de operación o de existencia.

El controlador se encarga de seleccionar la sección y de obtener los recursos necesarios para ejecutar una Actividad. La ejecución de cada actividad depende directamente de la disponibilidad del recurso solicitado. En este orden de ideas, si el recurso solicitado se encuentra en estado *Disponible* la actividad puede ejecutarse, es entonces cuando pasa al estado transitorio *Comprometido*, luego pasa al estado *Servicio* mientras se ejecuta la tarea. Al finalizar ésta, pasa de nuevo al estado *Disponible*.

La ejecución de una Actividad modifica los atributos y el estado de los Recursos, a través de su uso o consumo.

Un recurso es usado y liberado, si después de la ejecución de la actividad ninguna de las propiedades del recurso han cambiado.

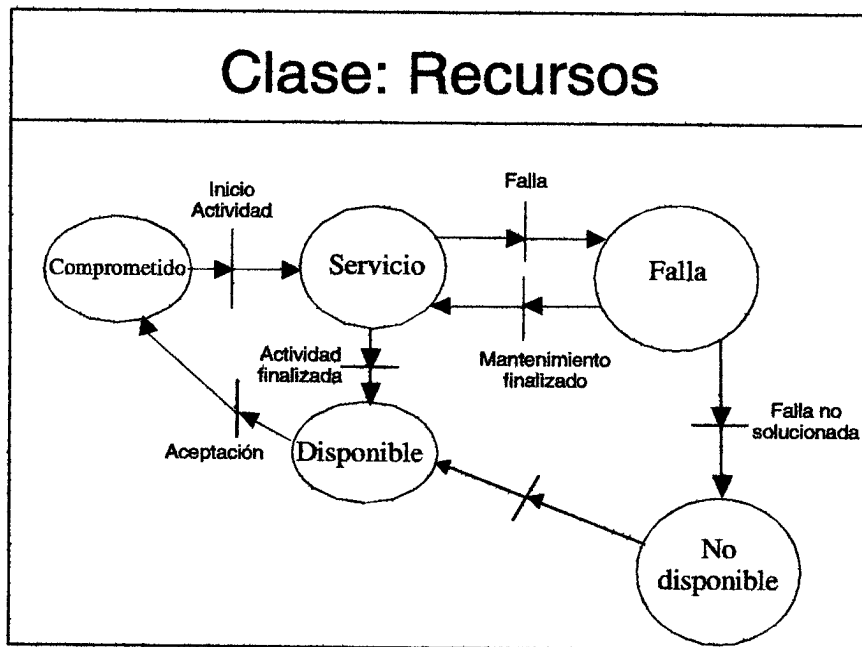


Figura 4.11: Diagrama de Estado de la Clase Recursos.

Un recurso es consumido si algún atributo del recurso ha cambiado luego de la ejecución de la actividad. Por ejemplo, luego de la ejecución de la actividad el recurso puede haber sido consumido en su totalidad, modificando su existencia, razón por la cual pasa al estado *No disponible* lo que impedirá temporalmente la ejecución de otra actividad. O bien, puede haber sido usado y liberado sin cambiar sus atributos y consecuentemente, sin cambiar su estado *Disponible*.

Adicionalmente, un recurso puede ser producido por una actividad.

Por otra parte, si el Recurso utilizado pertenece al Tipo Equipos o Herramientas, puede presentar una falla durante o después de la ejecución de la Actividad. En este caso, el Recurso pasa al estado *Falla*. Posterior a su mantenimiento pasa de nuevo al estado *Disponible* o al estado *No disponible* si dicha falla no fue solucionada, hasta que el Nivel de Planta obtenga la solución al problema.

2. Diagrama de Estado de la clase Actividad:

Se proponen los siguientes estados para los objetos Actividad:

- Espera: Cuando el objeto está inactivo en espera de un mensaje del Controlador indicando la Sección a ejecutar.
- Ejecutando: Cuando se está ejecutando la actividad en condiciones normales.
- Suspendida: Cuando la actividad está suspendida por fallas en los recursos.
- Completada: Cuando la actividad ha sido completada.
- En Falla: Cuando la actividad se sigue ejecutando cuando existan fallas en los equipos que no ameriten la suspensión de la misma.

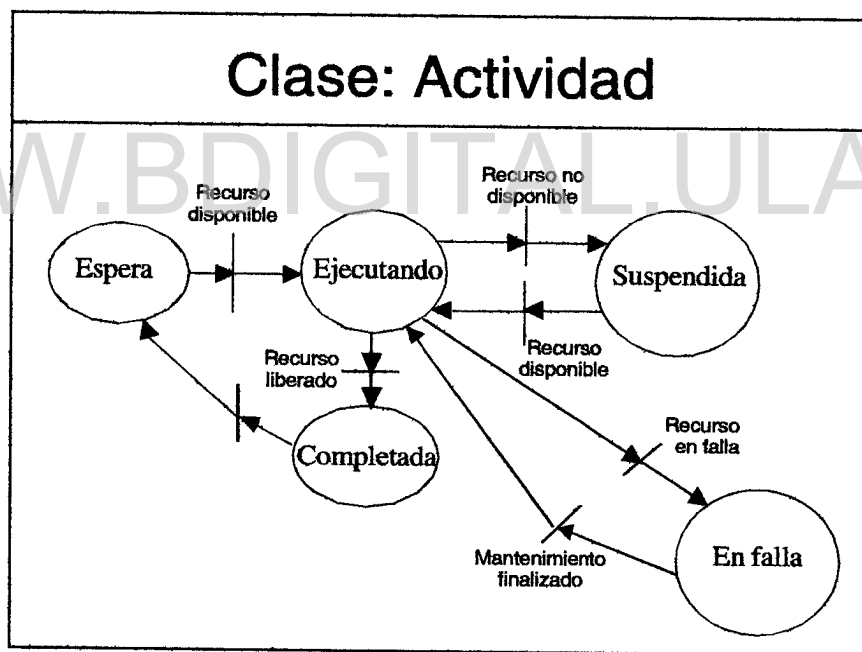


Figura 4.12: Diagrama de Estado de la Clase Actividad.

3. Diagrama de Estado de la clase Procesos:

Se proponen los siguientes estados para los objetos Procesos:

- **Espera:** Cuando el sistema espera por la selección de una Regla por parte del Controlador.
- **Actividad espera Recursos:** Cuando luego de seleccionar la Regla, una Actividad del Proceso espera que el controlador obtenga los recursos para ejecutarse.
- **Actividad ejecutando:** Cuando una actividad del Proceso se está ejecutando en condiciones normales.
- **Falla:** Cuando no se dispone de recursos para ejecutar la Actividad.

El proceso se encuentra al inicio en un estado *Inactivo*. Al llegar una Orden de Producción, el supervisor del proceso selecciona la primera regla a ejecutar (la cual tiene una ficha de un color específico), solicita los recursos y la primera actividad espera por la asignación de los mismos.

El Controlador verifica la disponibilidad de recursos. Si la hay, asigna los recursos a la actividad y ésta se ejecuta en el sitio *Actividad, Ejecutando*. Si no hay, se produce una *Falla*, la cual se conecta con el Modelo Dinámico de la Unidad de Producción en el sitio del mismo nombre.

Al terminar de ejecutarse la Actividad, se liberan los recursos y éstos vuelven a alimentar al sitio Recursos, haciéndolos disponibles para otra actividad.

Posteriormente, se pasa de nuevo al estado de *Espera*, hasta que el supervisor selecciona una nueva regla, y se repite el proceso hasta completar las *n* Actividades que componen el proceso. Al terminar de ejecutar ésta última, libera los recursos y vuelve al estado *Espera*.

4. Diagrama de Estado de la clase Segmento de Producción:

Se proponen los siguientes estados para los objetos Procesos:

- **Espera:** Cuando el segmento está inactivo en espera de una Orden de Producción.

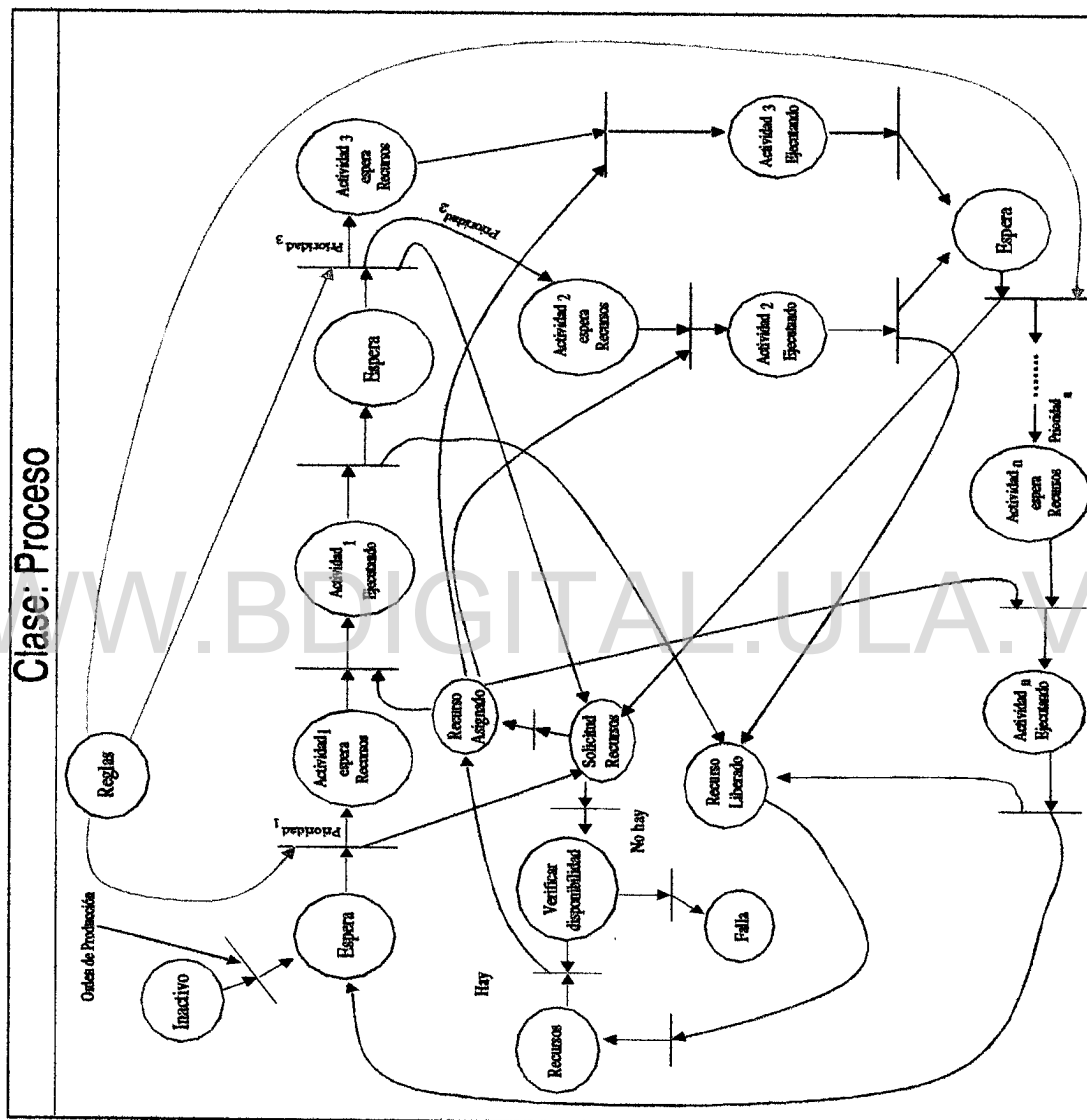


Figura 4.13: Diagrama de Estado de la Clase Proceso.

- Solicitar Recursos: Cuando el Controlador solicita los Recursos.
- Operación Normal: Cuando la operación se está ejecutando en condiciones normales.
- Detener Proceso: Cuando una operación tiene Fallas inherentes a los equipos, que requieren de la búsqueda de soluciones por el Nivel de Planta.
- Ajuste de Parámetros: Cuando un proceso está fuera de especificaciones, y el Controlador debe ajustar los parámetros, sin parar el proceso productivo.

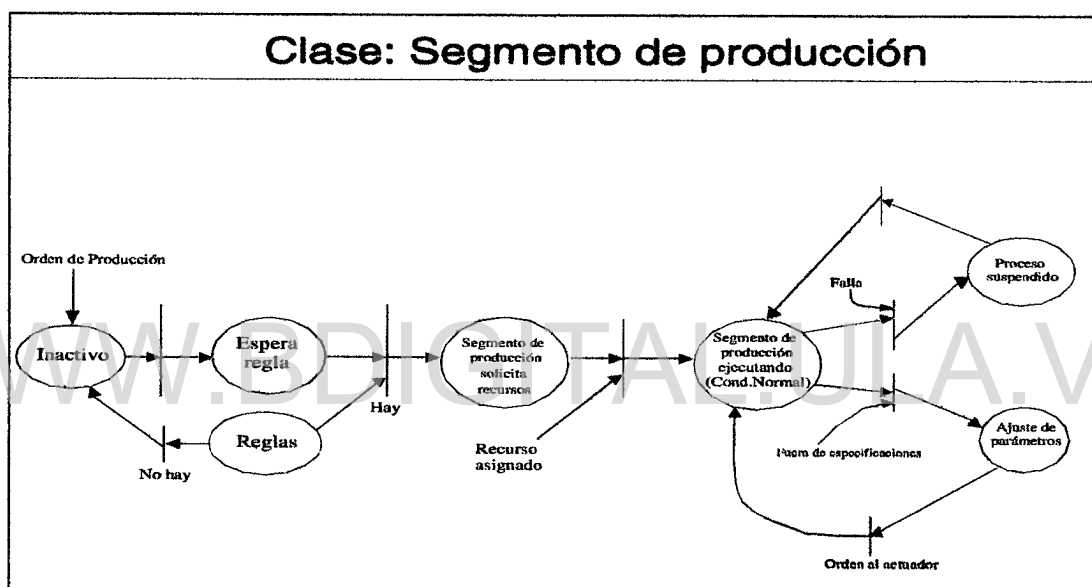


Figura 4.14: Diagrama de Estado de la Clase Segmento de producción.

El Segmento de Producción se encuentra al inicio en un estado *Inactivo*. Al llegar una Orden de Producción, el Controlador selecciona la Regla a ejecutar. Solicita los recursos (Solicitar Recursos) y al ser asignados éstos, se ejecuta la operación en condiciones normales (Operación Normal). El sitio Solicitar Recursos se conecta con el sitio del mismo nombre en el Diagrama de Estado de la clase Procesos.

Al mismo tiempo que la operación se ejecuta, el Supervisor se encarga de monitorear el proceso, para detectar el estado del proceso y de los recursos, así como

las fallas que lleven a detener el proceso, o a realizar un *Ajuste de Parámetros*. Estos dos últimos sitios se conectan con el Diagrama de Estado de la Unidad de Producción.

5. Diagrama de Estado de la Unidad de Producción: Este trabajo propone el Modelo Dinámico de la Unidad de Producción en Redes-WF, propuesto por este mismo trabajo en su Capítulo III, Sección 3.4, Figura 3.2, el cual se basa en la Descripción del Comportamiento de la Unidad de Producción planteada por Chacón y otros (2000b : 9).

4.4 Un ejemplo de Aplicación

Este trabajo tomó como ejemplo el Centro de Refinación Paraguaná (CRP) - Cardón de la empresa PDVSA Manufactura y Mercadeo, el cual tiene una capacidad instalada de 940.000 barriles diarios de crudo, lo que equivale al 75 por ciento del total de la capacidad de refinación en el país y al 50 por ciento del circuito internacional de PDVSA.

En este Centro, los insumos de servicios para procesos de refinería son vitales para el procesamiento del crudo en cada uno de sus sistemas. De los diferentes insumos generados por la planta Renovación de Servicios Industriales, la generación del vapor es un elemento vital para las plantas instaladas y presenta un proceso de producción sumamente complejo.

El sistema de generación de vapor de la planta está constituido por seis calderas de vapor de alta presión: F-101, F-102, F-103, F-104, F-105 y F-106; cada una de las cuales constituye una unidad de producción (ver figuras 4-15 y 4-16). Estas calderas son acuotubulares de construcción soldada, con circulación natural de agua, fuego tangencial, hogar presurizado y autosoportadas. Poseen además las siguientes características:

- Generación de vapor sobrecalentado a 155T/d.
- Presión de vapor sobrecalentado a 155 bar.

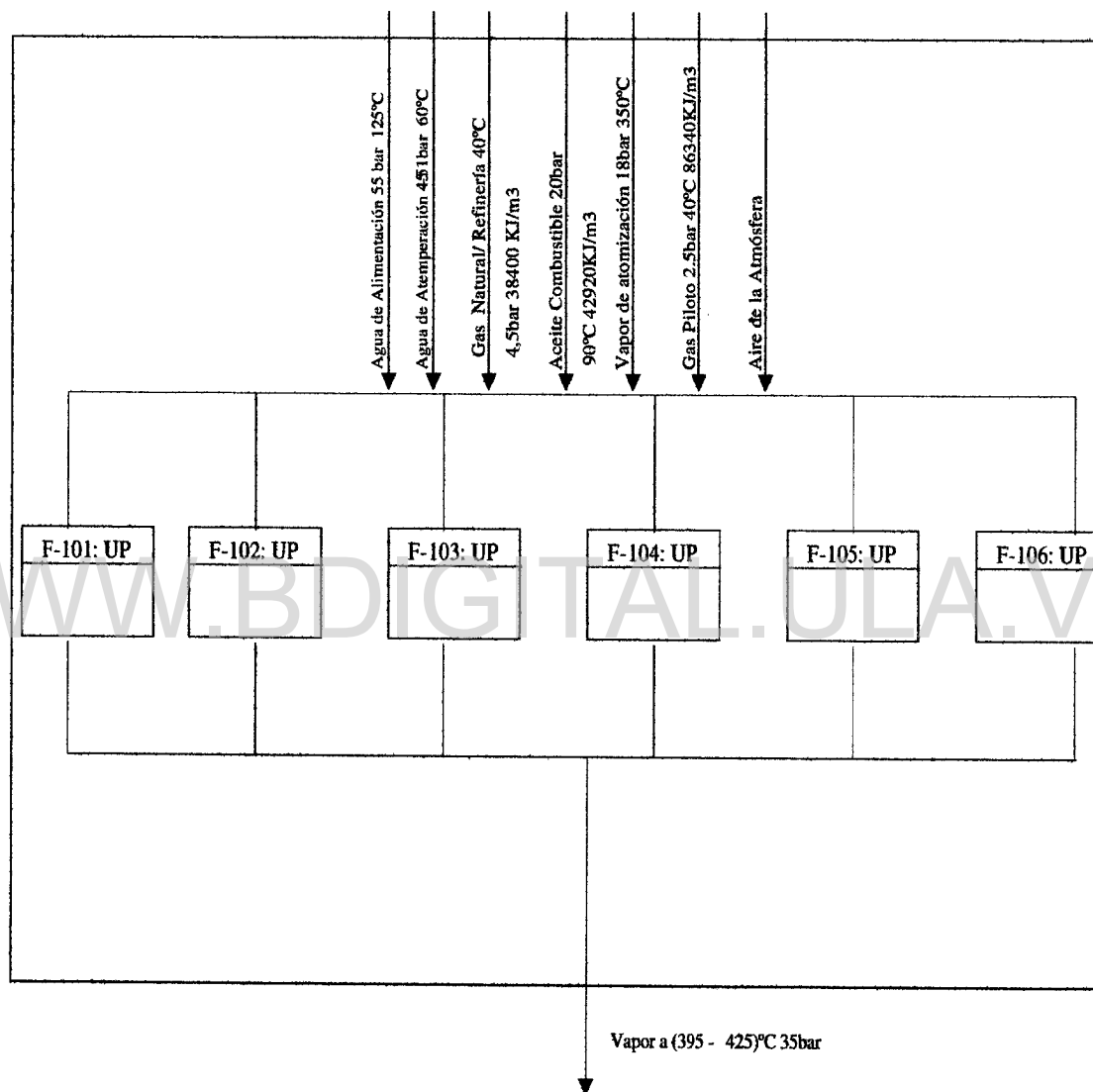


Figura 4.15: Organización de las Unidades de Producción.

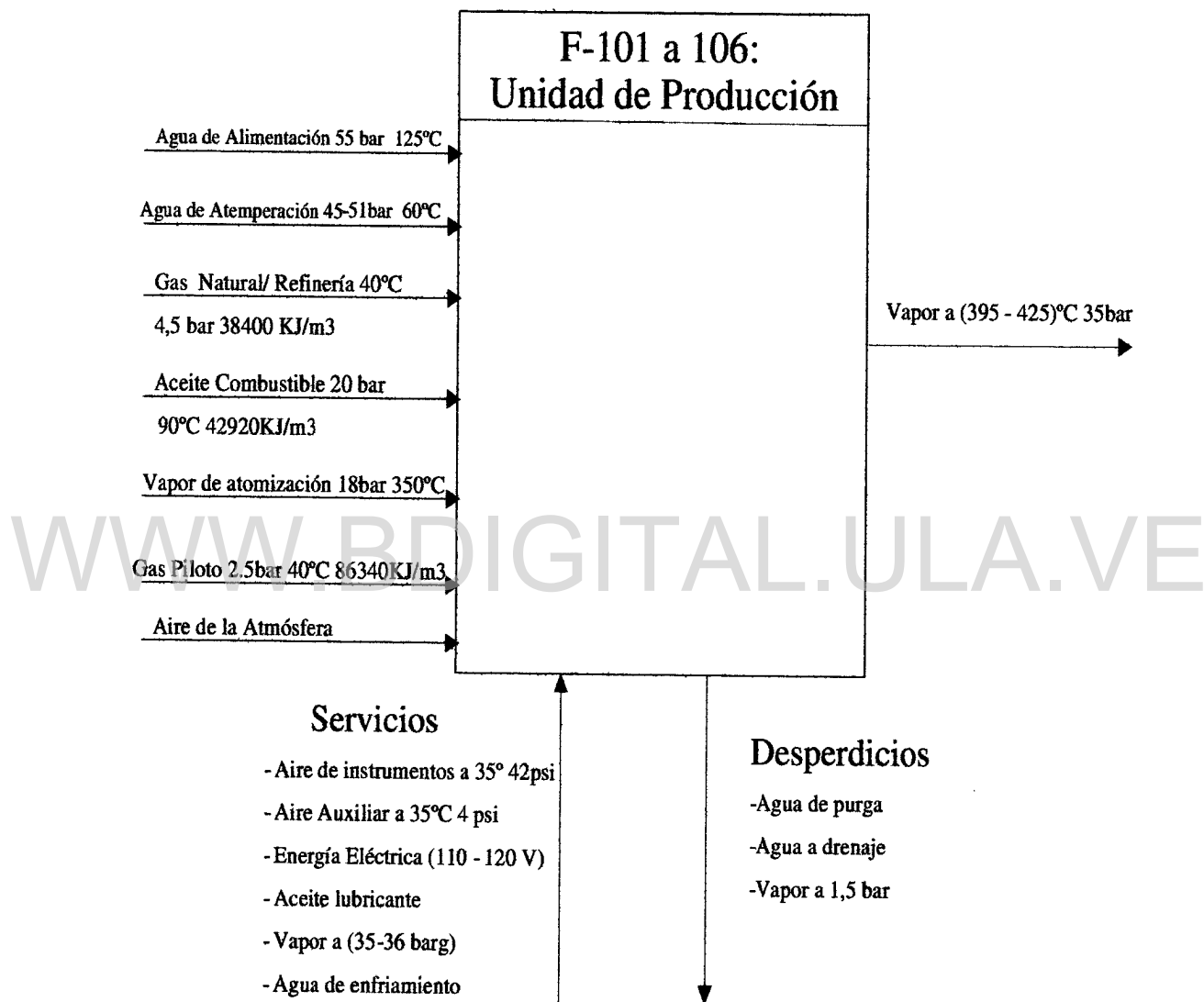


Figura 4.16: Modelo de las Unidades de Producción F-101 a F-106

- Temperatura de vapor sobrecalentado a 425C
- Temperatura del agua de alimentación 125C.
- Presión de diseño 48.95 Kg/Cm^2 ,
- Presión de prueba hidrostática 73 Kg/Cm^2 .
- Un economizador externo, el cual consta de tres bancos de tuberías de 41 serpentines cada uno.
- Un economizador interno, el cual consta de dos bancos de tuberías de 34 serpentines cada uno.
- Un tambor de 66 pulgadas de diámetro, 29,6 pies de longitud.
- Una sección de radiación (hogar), con un volumen de 24.953 $pies^3$.
- Una sección de convección con un volumen de 13.611 $pies^3$.
- Un atemperador.
- Un sobrecalentador secundario, primario formado por un banco de 23 serpentines.
- Un ventilador de tiro forzado, VTF - 101/103/105 impulsado por turbinas de vapor de la misma producción de la caldera VTF-102/104/106 impulsados por motores eléctricos.
- Un ventilador de aire a ignitores, impulsado por motores eléctricos.
- Ocho quemadores de gas.
- Ocho quemadores de aceite líquido maroil.
- Un sistema de sopladores de hollín, formados por 30 unidades retráctiles marca Copes Vulcan, modelo T-20E, distribuido de la siguiente forma: 9 unidades en

el sobrecalentador, 9 unidades en el economizador interno y 12 unidades en el economizador externo.

- 16 ignitores.
- Un separador de líquido en la entrada de gas para cada caldera: V-402/ 403/ 404/ 405/ 406/ 408.

Los procesos principales que se producen en cada sistema de calderas son los siguientes:

- Sistema de combustión: Es de tipo tangencial. El combustible y el aire de combustión se distribuyen al hogar mediante boquillas colocadas en las esquinas de la unidad, de este modo los reactivos de todos los quemadores interactúan formando una masa ciclónica de llamas en el interior del hogar. El aire se distribuye a través de las cajas de aire a las diferentes elevaciones de quemadores (A, B, C y D9 de la caldera. Las elevaciones A y B corresponden al sistema de combustible gaseoso, y las elevaciones C y D corresponden al sistema de combustible líquido. Cada elevación dispone de cuatro quemadores (uno en cada esquina), existiendo ocho quemadores en total para cada sistema de combustible. Las paredes de agua del hogar de la caldera están formadas por tubos de tres pulgadas de diámetro espaciados cuatro pulgadas. El área efectiva de la radiación dentro del horno es de $454.4m^2$ y la temperatura de los gases en la cámara de combustión es de unos 1116 C.

Las calderas operan normalmente con combustible gaseoso, el cual es una mezcla de Gas Pag - Line (gas natural) y gas de refinería. El sistema de combustible líquido maroil se utiliza como respaldo en el caso que se presenten problemas en el suministro de gas.

- Sistema de aire y gas de combustión: El aire necesario para la combustión se suministra a cada caldera mediante un ventilador de tiro forzado (VTF-101 a VTF-106), a partir del cual pasa a una serie de quemadores y al hogar por

medio de un sistema de conductos, el cual cuenta con juntas amortiguadoras a la entrada y salida del ventilador y juntas de dilatación para permitir los movimientos de expansión térmica. Un ventilador pequeño (K-101 a K-106) se encarga de suministrar el aire que requieren los quemadores de cada caldera.

El sistema de gases de combustión canaliza los gases producto de la combustión de la salida a la caldera al economizador externo y de allí al ducto común de descarga a la chimenea. Estos ductos también poseen juntas de dilatación térmica y están aislados para prevenir las pérdidas de calor.

- Sistema de Agua - Vapor: El agua suministrada a las calderas proviene del tanque de almacenamiento T-301. De allí pasa a los desaeradores (V-101 a V-104) por medio de las bombas de elevación, siendo la función de éstos últimos el precalentamiento del agua de alimentación a 125C y la remoción de los gases no condensables disueltos en la misma (esto con el fin de evitar la corrosión en las partes internas de las calderas que causan la presencia del oxígeno y el dióxido de carbono). Luego el agua precalentada es bombeada al economizador externo de la caldera a través de las bombas de alimentación, donde el agua es calentada hasta alcanzar una temperatura de 180C. Posteriormente entra al cabezal inferior del economizador interno, el cual la distribuye a sus bancos de tuberías en donde incrementa su temperatura a 254C con los gases de combustión provenientes de la zona de convección. De allí continúa su recorrido a través de los tubos colgantes hasta llenar la sección inferior del tambor. Luego sale a formar parte de las paredes del hogar y regresa al tambor como mezcla de agua - vapor (vapor saturado). Dentro de este tambor se lleva a cabo la separación del agua y vapor por medio de secadores, luego el vapor sale a la sección de convección, lugar donde se encuentran los sobrecalentadores.

El vapor pasa por el cabezal de entrada del sobrecalentador primario, el cual lo distribuye a sus bancos de tubería, donde circulan en contraflujo de los gases de combustión, y absorbe el calor necesario para adquirir la temperatura inicial de sobrecalentamiento. Este vapor sobrecalentado es recolectado por el cabezal

de salida del sobrecalentador y dirigido al cabezal de atemperación, en donde recibe el agua atomizada para controlar su temperatura, luego pasa al cabezal de entrada del sobrecalentador secundario el cual lo distribuye paralelo a la circulación de gases. Allí la temperatura del vapor alcanza el valor diseñado de sobrecalentamiento.

Finalmente el vapor será recolectado por el cabezal de salida del sobrecalentador secundario y entregado al colector de vapor, donde descargan todas las calderas para ser utilizado principalmente por los turbogeneradores para producir electricidad y vapor de calentamiento en las plantas de proceso.

Estas calderas, poseen además de los equipos eléctricos y mecánicos para la realización de su función, sistemas automatizados de control y seguridad cuya función es garantizar que los parámetros de las variables de operación de las unidades de generación de vapor permanezcan constantes.

En las figuras 4.17 a 4.22 se muestra la arquitectura del sistema de vapor. No obstante, el desarrollo de este ejemplo se centrará en el estudio del Sistema de Combustión.

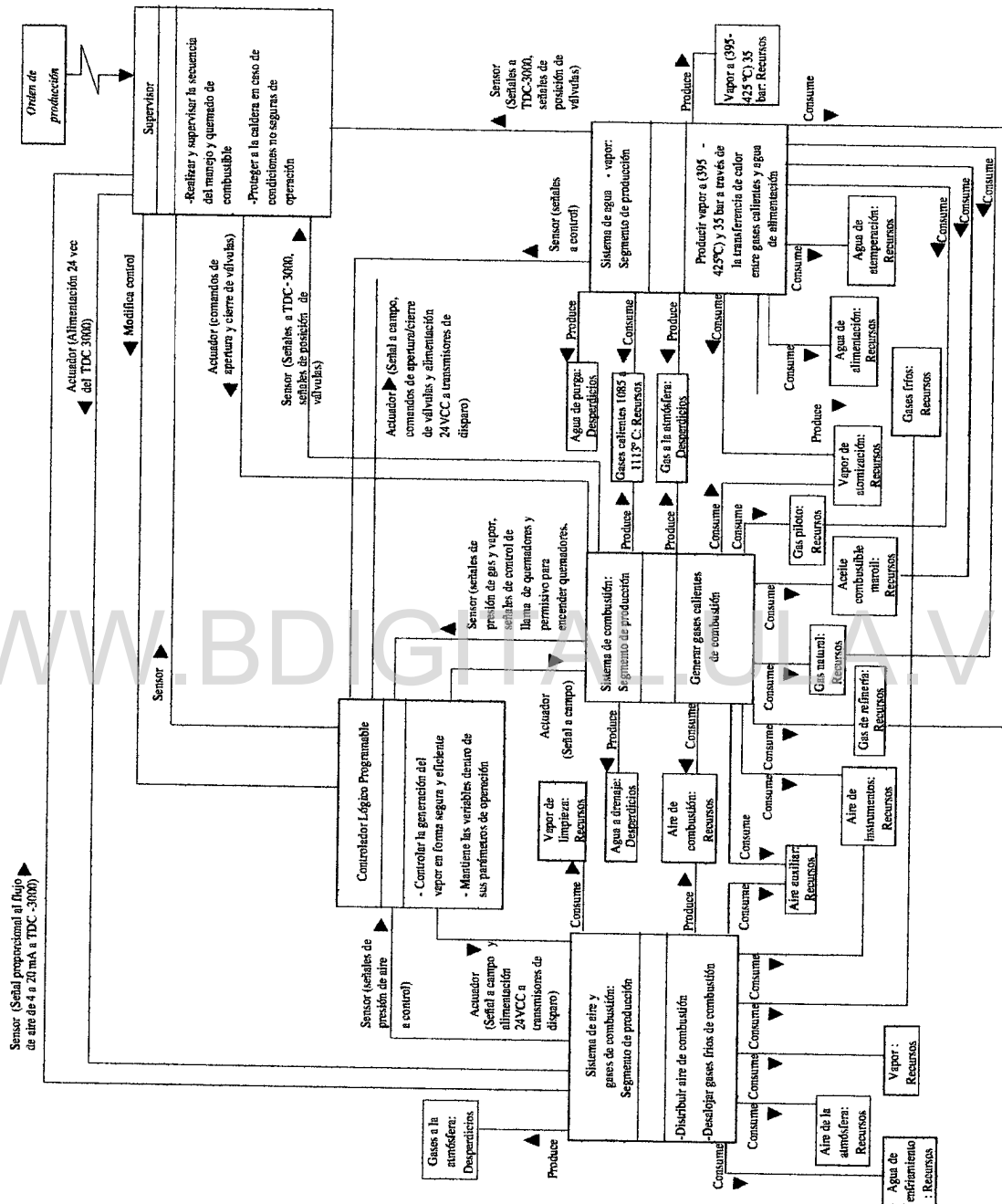


Figura 4.17: Modelo de Objetos del Sistema de Vapor (i).

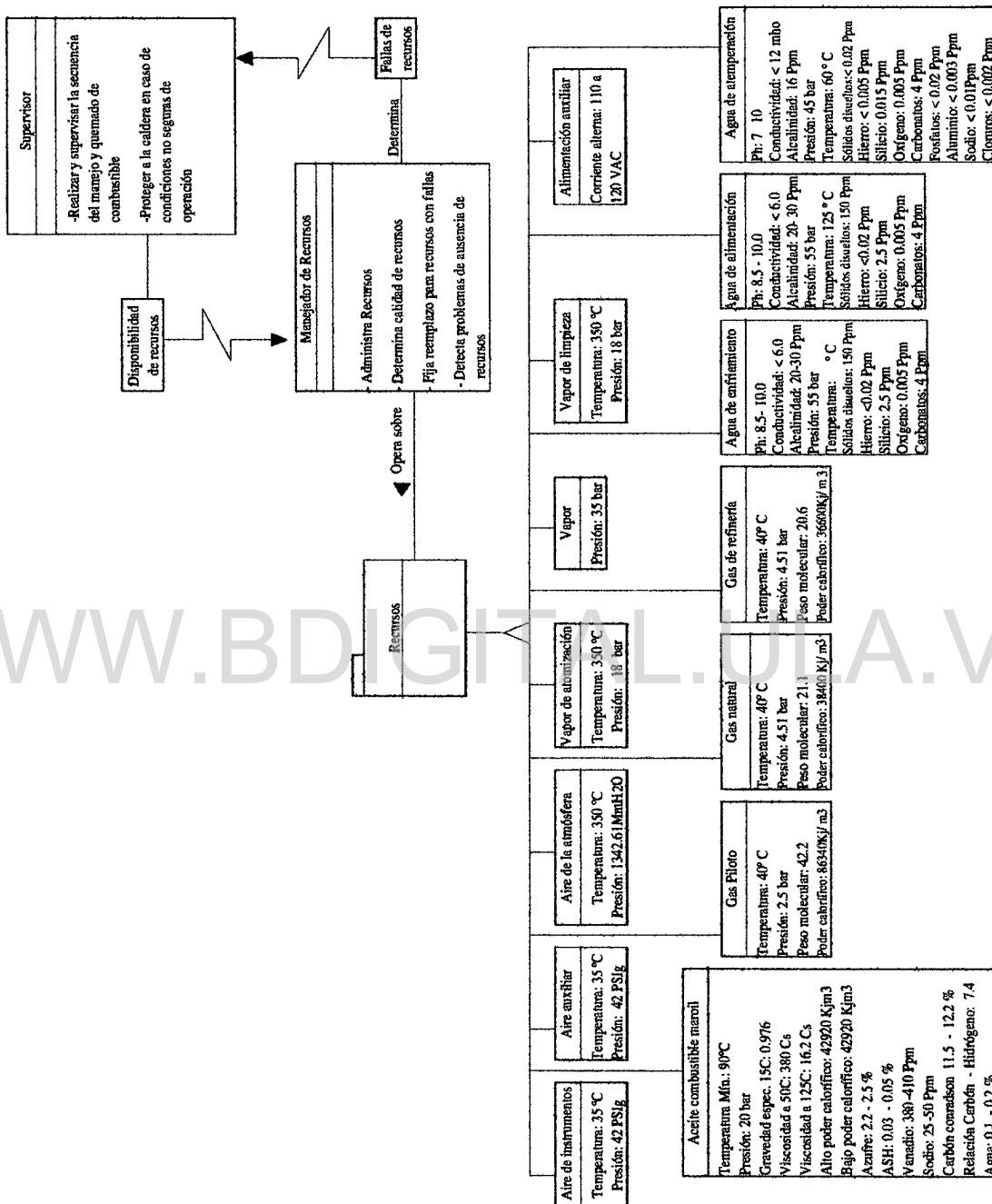


Figura 4.18: Modelo de Objetos del Sistema de Vapor (ii).

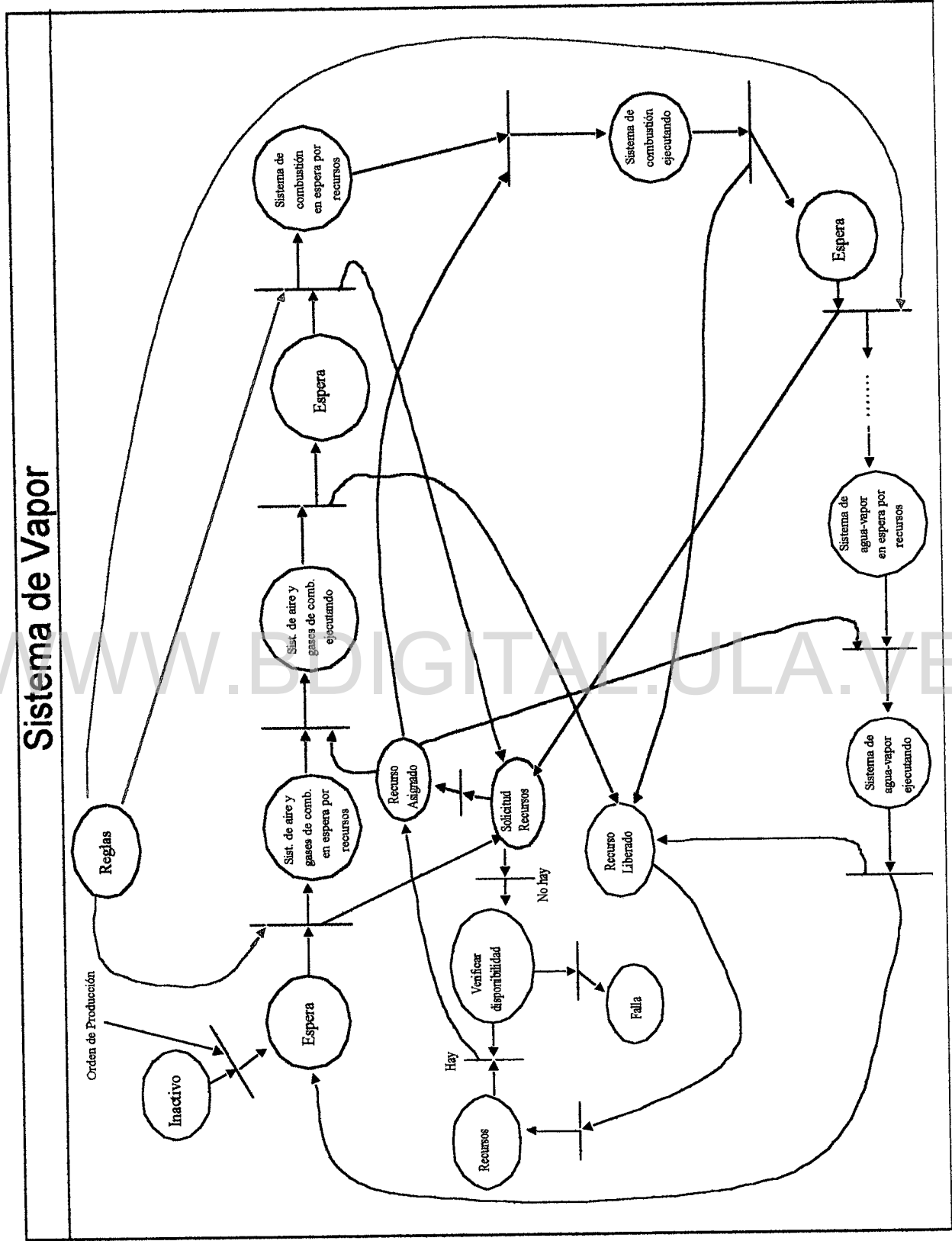


Figura 4.19: Diagrama de Estado del Sistema de Vapor.

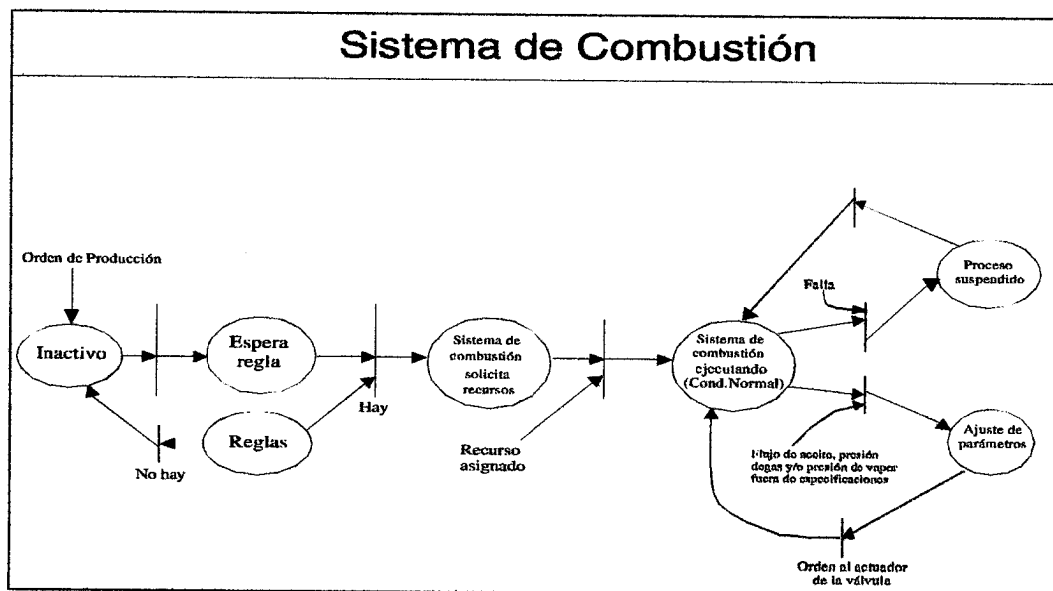


Figura 4.20: Diagrama de Estado del Sistema de Combustión.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

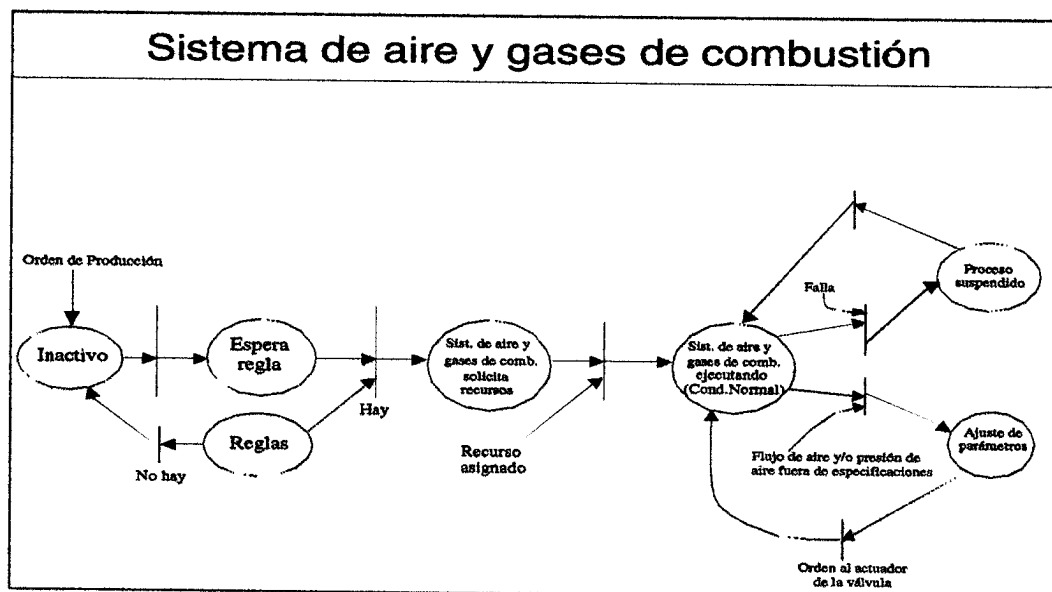


Figura 4.21: Diagrama de Estado del Sistema de Aire y Gas de Combustión.

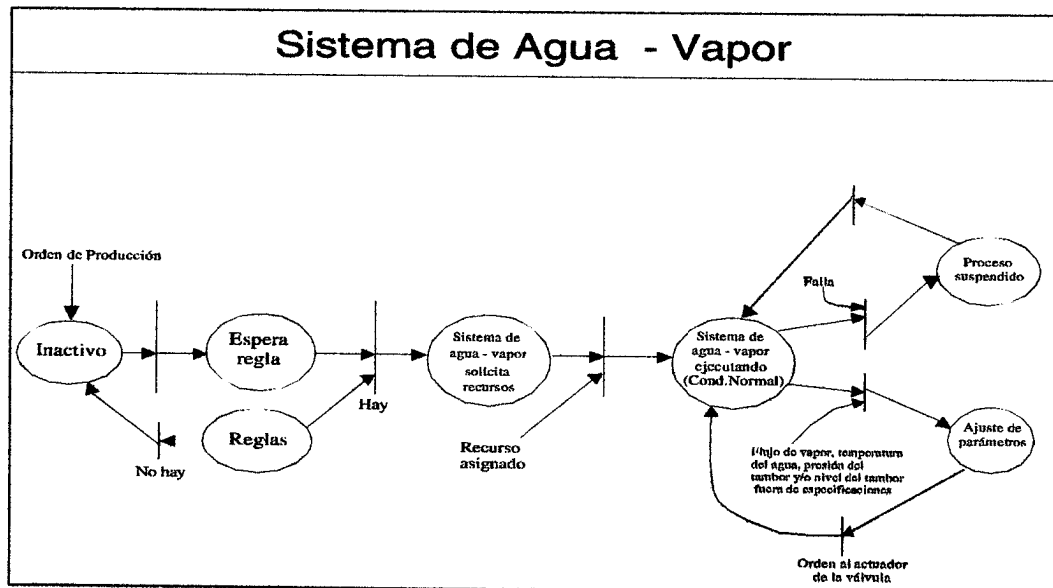


Figura 4.22: Diagrama de Estado del Sistema de Agua - Vapor.

En el sistema de combustión se controla el flujo de gas combustible, el flujo de aceite combustible y la presión de gas a ignitores. El modelo de objetos (i) de este sistema se muestra en la figura 4-23 (de aquí en adelante se mantiene la segunda parte del modelo de objetos que fue representado en la figura 4.18 tanto para el sistema de combustión como para los subsistemas que integran a éste), mientras que el modelo dinámico es el mismo que fue presentado en la figura 4-20.

Este sistema está conformado a su vez, por los siguientes:

- Sistema de Ignitores

Este sistema está encargado de aportar la energía necesaria para el encendido inicial del combustible principal. La ignición del gas de encendido se logra mediante la producción de una chispa eléctrica originada en un transformador de alto voltaje. Cada ignitor tiene sus propios elementos de generación de chispa y de seguridad controlados por un tablero de control de llama de ignitor para verificar que la llama producida sea confiable.

El combustible utilizado para la generación de la llama inicial es el gas Pagline.

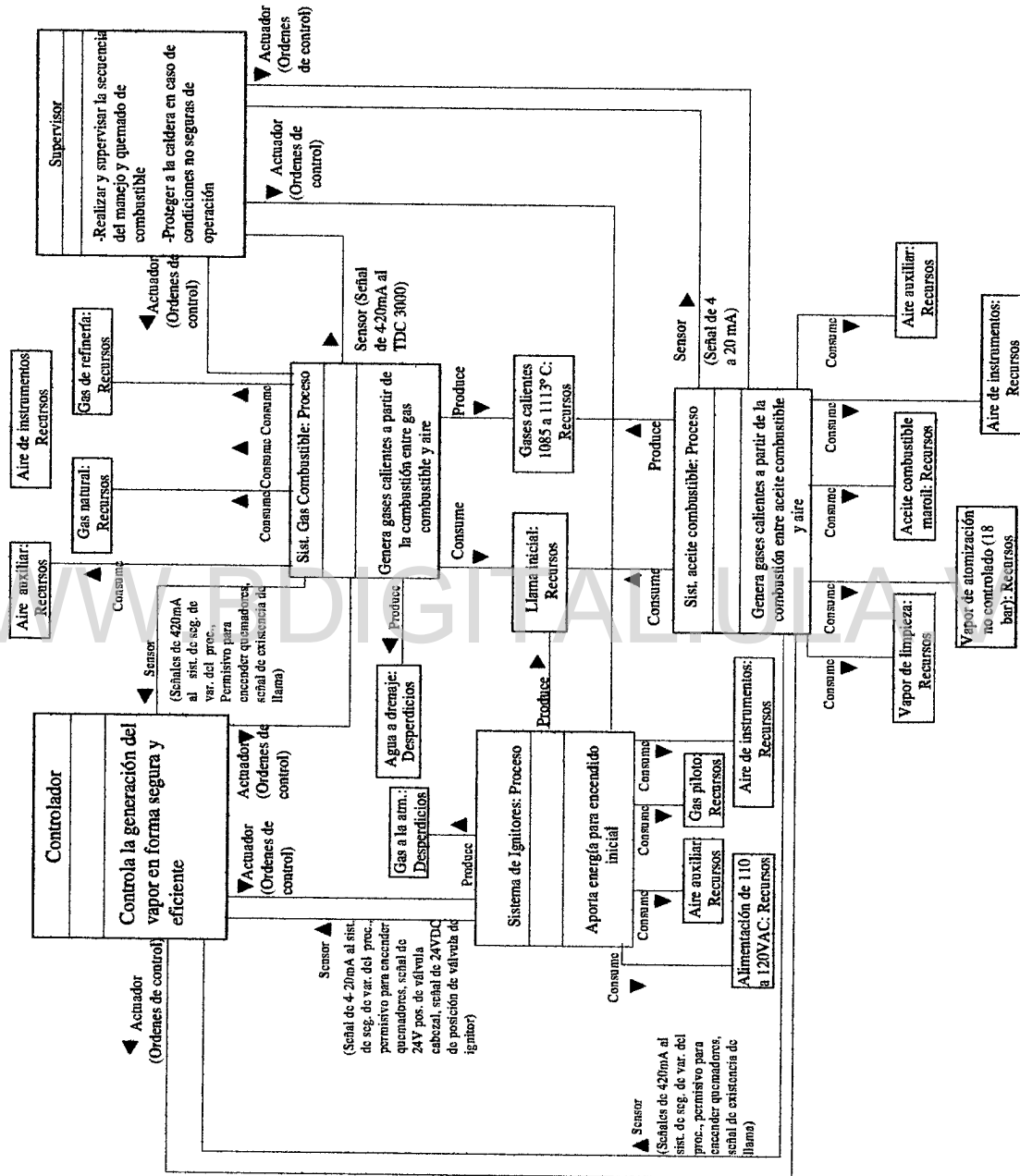


Figura 4.23: Modelo de Objetos del Sistema de Combustión.

El lazo de control utilizado es simple y la variable controlada es la presión de dicho gas.

El control consiste en un transmisor neumático de presión 62PRC-109, el cual envía señal de 3 a 15 psig proporcional a la presión del gas. La señal emitida por el transmisor es recibida por un controlador local 62PIC-109 cuya función es comparar la variable medida con el punto de ajuste fijado por el operador (0.07 - 0.34 bar). El error resultante es la salida hacia la válvula de control 62PCV-109 encargada de aumentar o disminuir la presión del gas regulando su flujo. En la línea de gas a ignitores existe una válvula cabezal de ignitores 62XI-502 la cual permite el paso de gas en condiciones normales. En cada ignitor se encuentra una válvula On-Off que es controlada por el tablero de control de llama de ignitor el cual está constituido por los siguientes elementos:

- Un relé interfase IIR, encargado de energizar la bobina para dejar pasar 120VAC al relé interfase IVR.
- Un relé interfase IVR, encargado de suministrar 24VCC a la válvula solenoide de ignitor.
- Un relé interfase ITR, encargado de transmitir voltaje al transformador durante 10 seg.
- Un transformador, encargado de producir 5000V para generar chispa en ignitor.
- Un control de llama AFPR, encargado de evitar contacto de cierre en caso de existir llama en ignitor.
- Un relé interfase IFF, encargado de disparar el ignitor cuando no se detecta llama.

El sistema de seguridad de este sistema consta de un transmisor ubicado en la línea de gas a ignitores 62PEA-701, cuya función es enviar una señal de 4 a 20 mA proporcional a la presión del gas a una tarjeta ubicada en el gabinete

ronan y comparar la medición con el punto de ajuste fijado por el personal de equipos especiales. Esta tarjeta está calibrada para disparar el sistema cuando la presión es menor a 0.05 bar, y a activar una alarma cuando la presión es mayor a 0.34 bar para que el operador tome los respectivos ajustes para nivelar el sistema a condiciones normales de operación. De esta manera se evitan los riesgos que puedan existir cuando una variable se sale de sus parámetros de operación.

A continuación y mediante las figuras 4.24 a 4.30, se presentan el Modelo de Objetos y el Modelo Dinámico para el Sistema de Ignitores, mostrando para comprensión del lector un solo diagrama de estado de los objetos recursos, a través del cual los demás pueden ser fácilmente obtenidos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

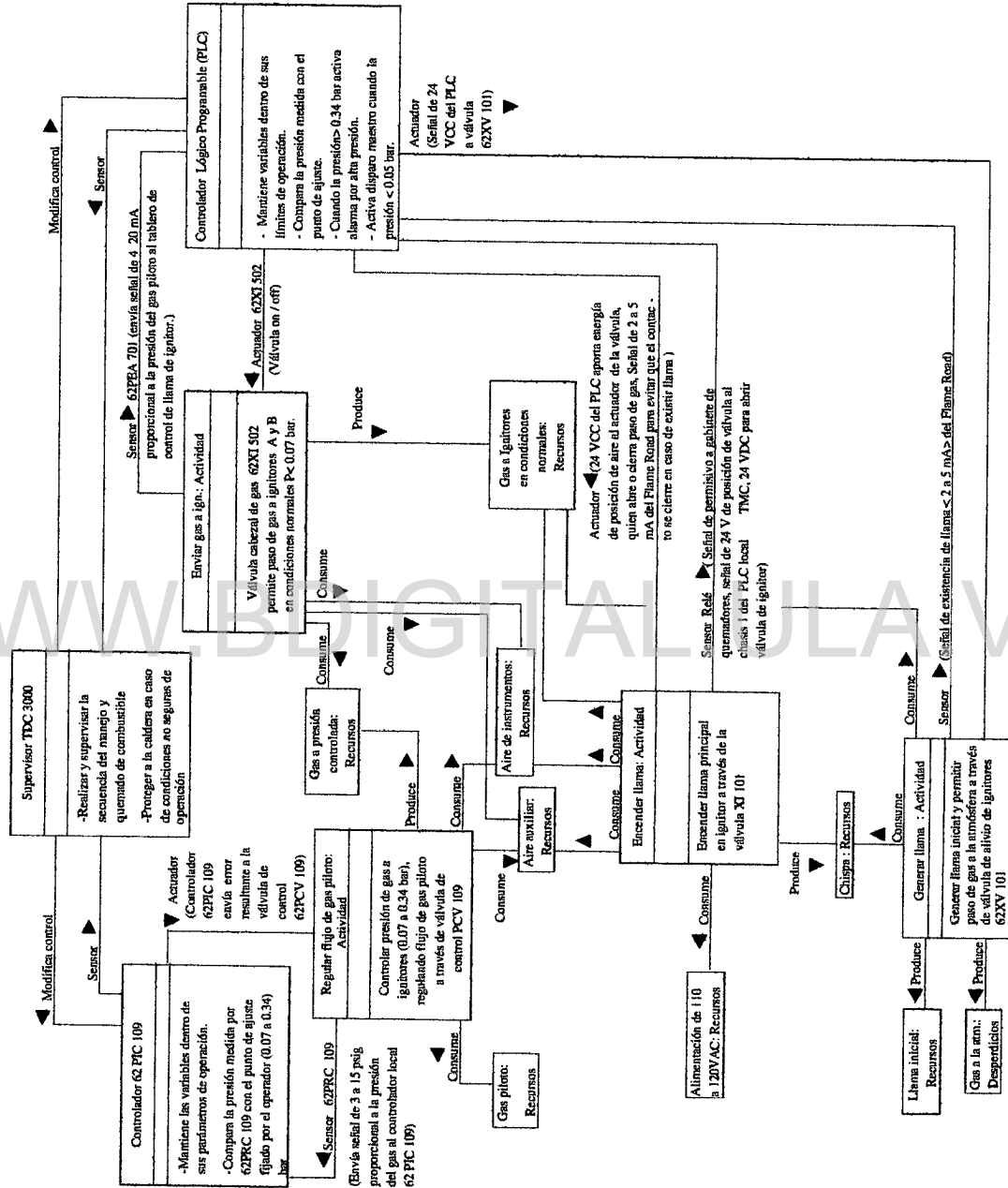


Figura 4.24: Modelo de Objetos del Sistema de Ignitores.

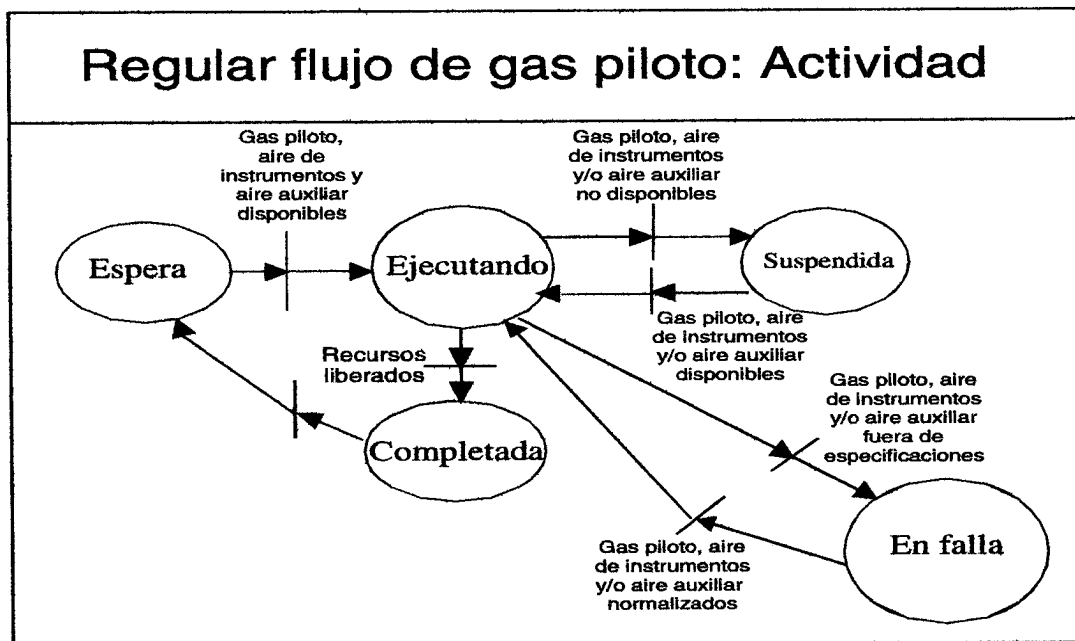


Figura 4.26: Diagrama de Estado de la Actividad *Regular Flujo de Gas Piloto*.

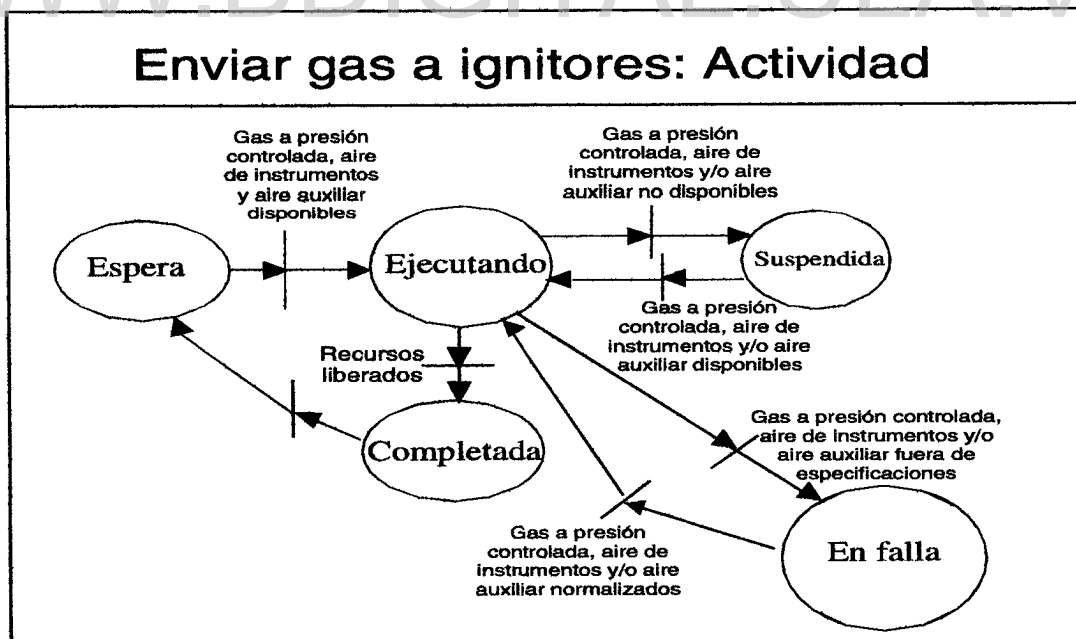


Figura 4.27: Diagrama de Estado de la Actividad *Enviar Gas a Ignitores*.

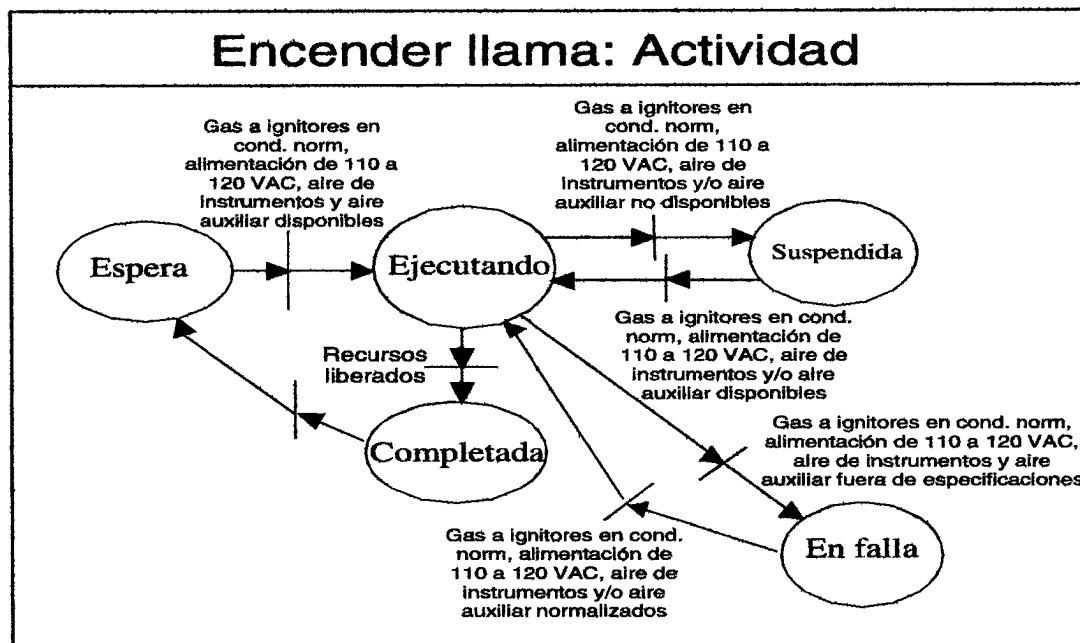


Figura 4.28: Diagrama de Estado de la Actividad *Encender Llama*.

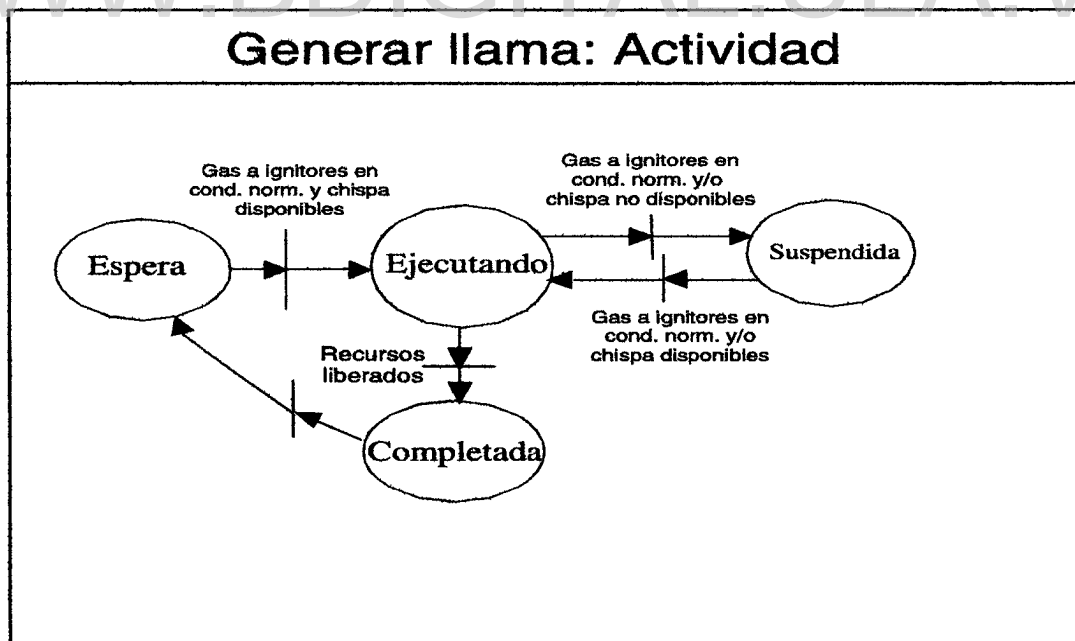


Figura 4.29: Diagrama de Estado de la Actividad *Generar Llama*.

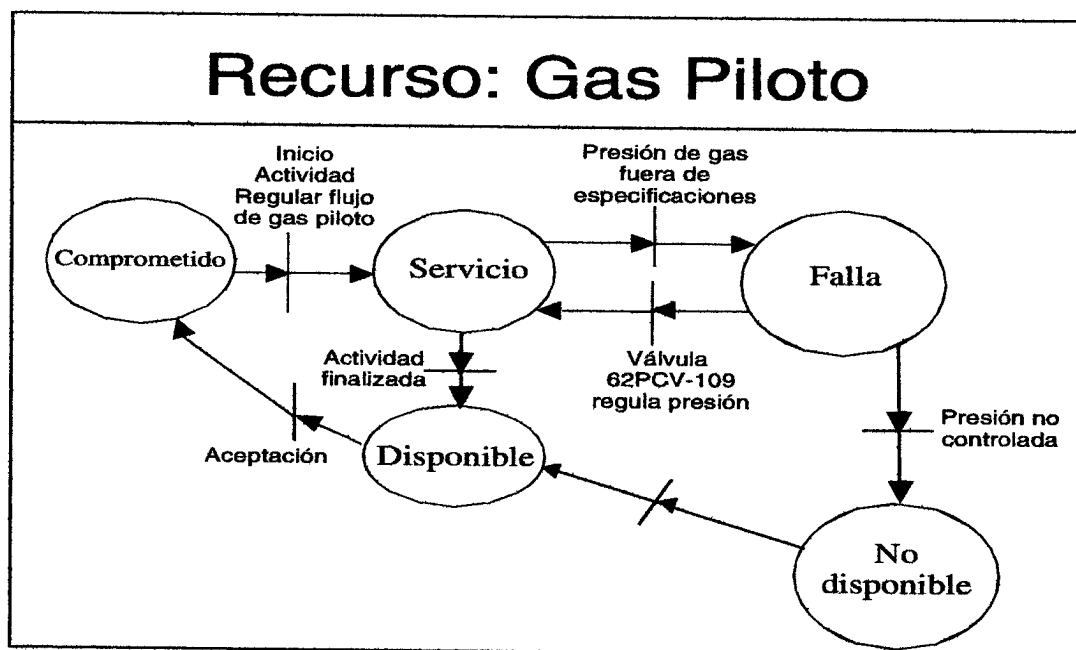


Figura 4.30: Diagrama de Estado del Recurso *Gas Piloto*.

- Sistema de Gas Combustible

Este sistema está encargado de generar gases calientes a través de la combustión entre aire y gas combustible. El combustible utilizado para la generación de la llama inicial lo constituye una mezcla de gas Pagline y el gas de refinería. Se utiliza un lazo de control simple para controlar el flujo de gas combustible, el cual posee los siguientes elementos:

Dos transmisores duales 62FC-102A y 62FC-102B encargados de enviar una señal de 4 a 20 mA proporcional al diferencial de presión observado en la placa orificio 62FI-102. La señal de ambos transmisores llega a un selector de alta señal (HSS) encargado de comparar y elegir la mayor de las señales y emitirla al controlador diferencial - proporcional - derivativo 62FRC-102 ubicado en el sistema de control distribuido TDC-3000, comparando la señal del transmisor con el punto de ajuste fijado por el operador, el cual oscila entre 1.6 y 2.3 bar.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

El error resultante de esta comparación es la orden emitida a la válvula 62FCV-102. Dicha señal de 4 a 20 mA es enviada al convertidor IP 62FY-102, el cual convierte la señal eléctrica enviada por el controlador en una señal neumática al actuador de la válvula de control 62FCV-102, produciéndose así la regulación deseada.

En la línea de gas a quemadores existe una válvula cabezal 62BI-505 la cual permite el paso de gas en condiciones normales. En cada quemador se encuentra una válvula On-Off que es controlada por el Controlador Lógico Programable (PLC), encargado de la seguridad de la llama. Este controlador se encarga de energizar a las válvulas solenoides de cada quemador incluyendo la válvula cabezal con 24VCC para permitir el paso de gas a quemadores.

Para controlar el encendido de la llama principal de la cual se generan los gases calientes, se cuenta con un control de llama de quemadores, constituido por un amplificador de llama, un detector asociado a cada quemador y un controlador. El controlador está compuesto por un par de relés: el primer relé se energiza cuando hay presencia de llama en ignitor, y el otro cuando detecta llama en quemador. El segundo relé enclava al primero, el cual envía la señal de presencia de llama en el PLC.

El sistema de seguridad de gas combustible consta de un transmisor 62PEA-181 ubicado en la línea de gas a quemadores cuya función es enviar señal de 4 a 20 mA proporcional a la presión del gas. La señal llega a una tarjeta ubicada en el gabinete ronon y compara la medición con el punto de ajuste fijado por el operador. Esta tarjeta está calibrada para disparar el sistema cuando la presión es menor a 0.025 bar. De esta manera se evitan los riesgos que puedan existir cuando una variable se sale de sus parámetros de operación.

Existe un transmisor de presión 62PIA-105 el cual envía una señal de 4 a 20 mA proporcional a la presión del gas. Esta señal llega al TDC-3000 en donde se activa una alarma cuando la presión es mayor a 2.3 bar. Al activarse esta alarma el operador deberá tomar las acciones necesarias para normalizar el sistema, ya

que se corre el riesgo de que se tapen los transmisores por alta presión y se llegue a disparar la caldera por quemadores apagados.

En las figuras 4.31 a 4.38, se presentan el Modelo de Objetos y el Modelo Dinámico para el Sistema de Gas Combustible, mostrando para comprensión del lector un solo diagrama de estado de los objetos recursos, a través del cual los demás pueden ser fácilmente obtenidos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

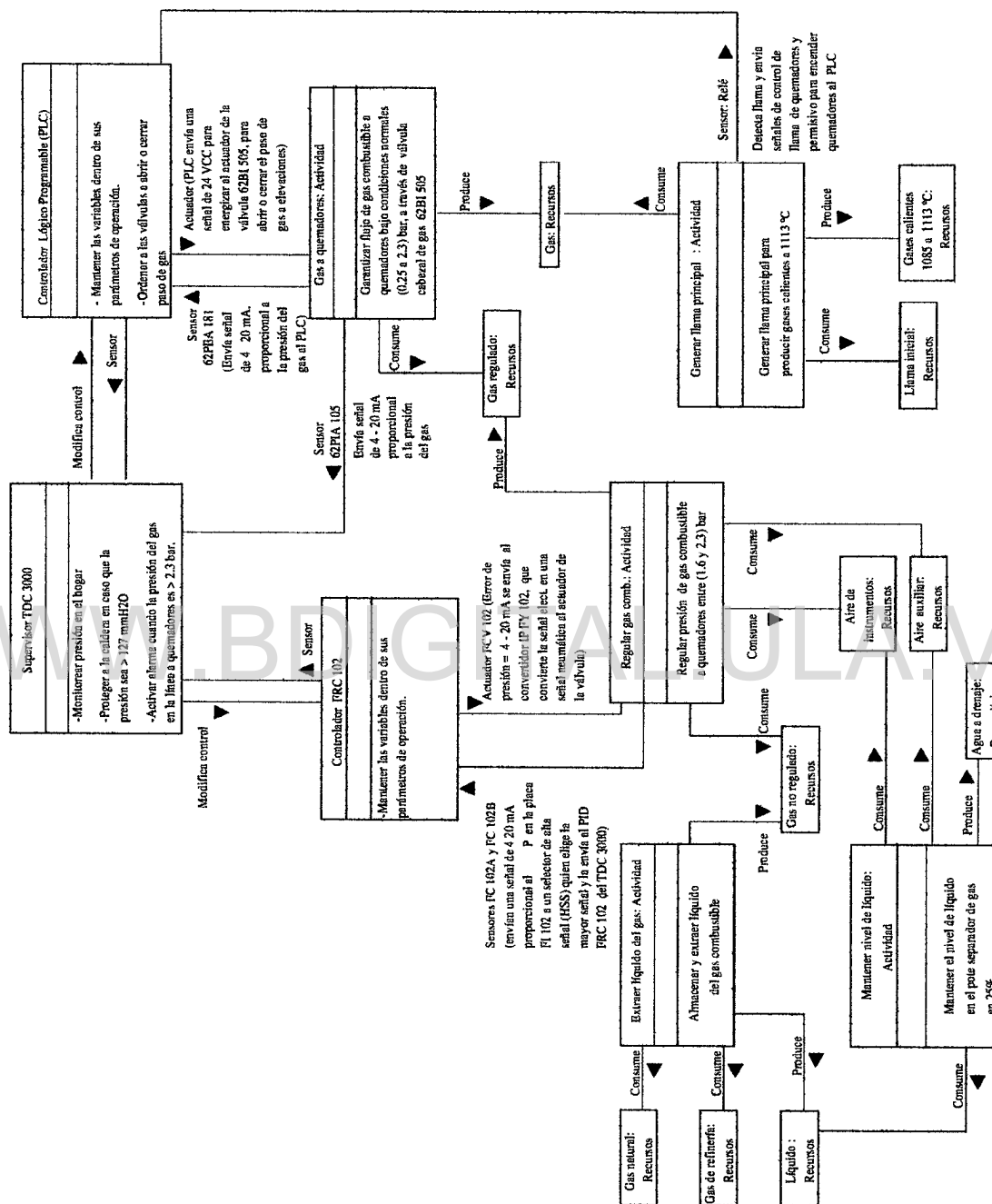


Figura 4.31: Modelo de Objetos del Sistema de Gas Combustible.

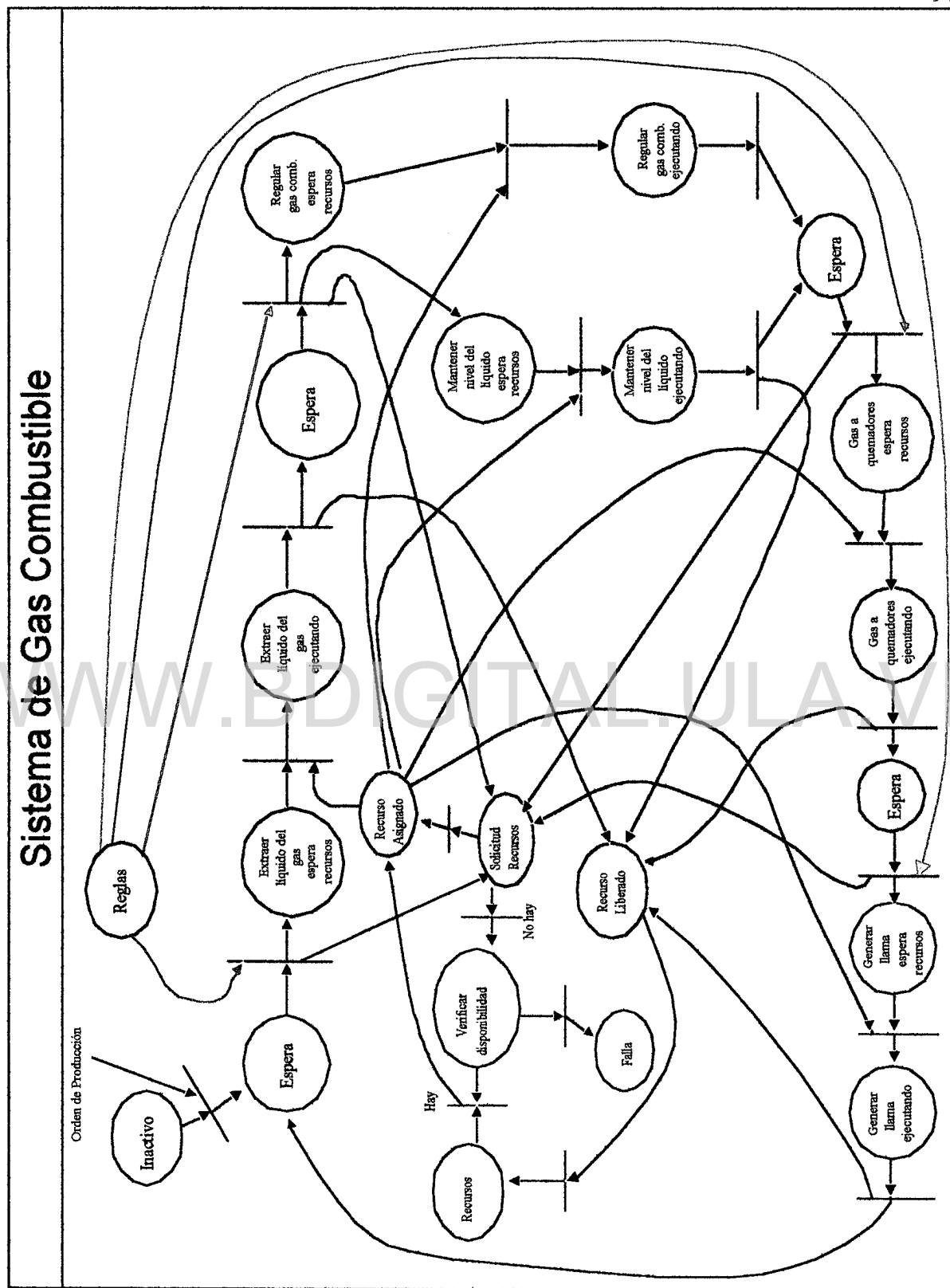


Figura 4.32: Diagrama de Estado del Sistema de Gas Combustible.

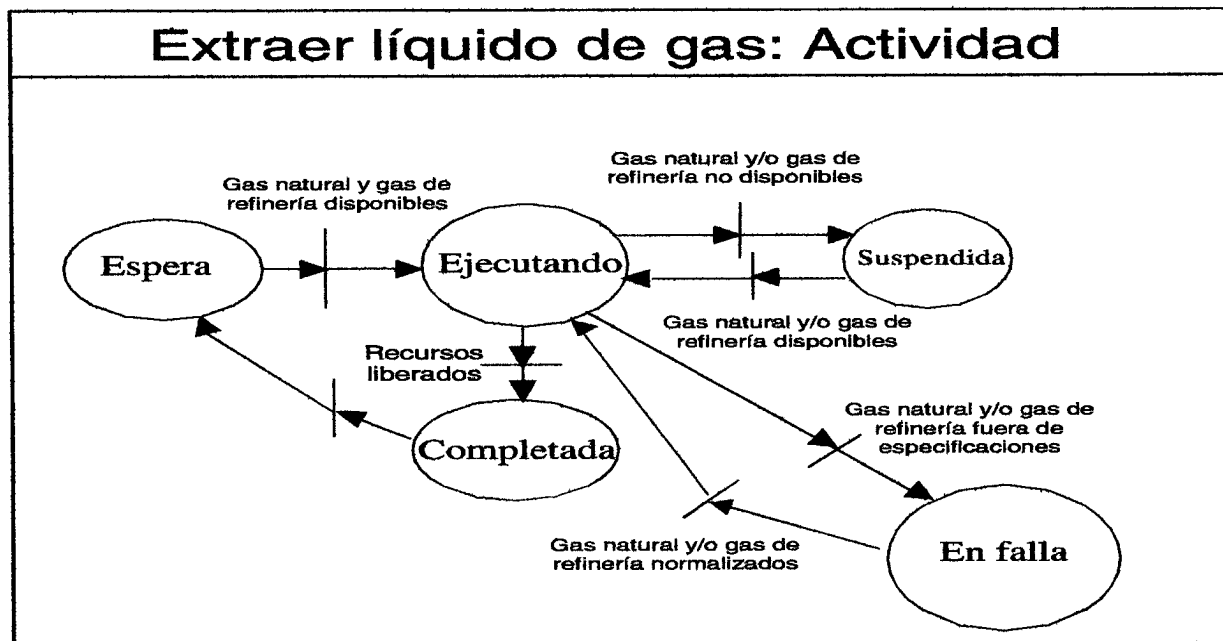


Figura 4.33: Diagrama de Estado de la Actividad *Extraer Líquido de Gas*.

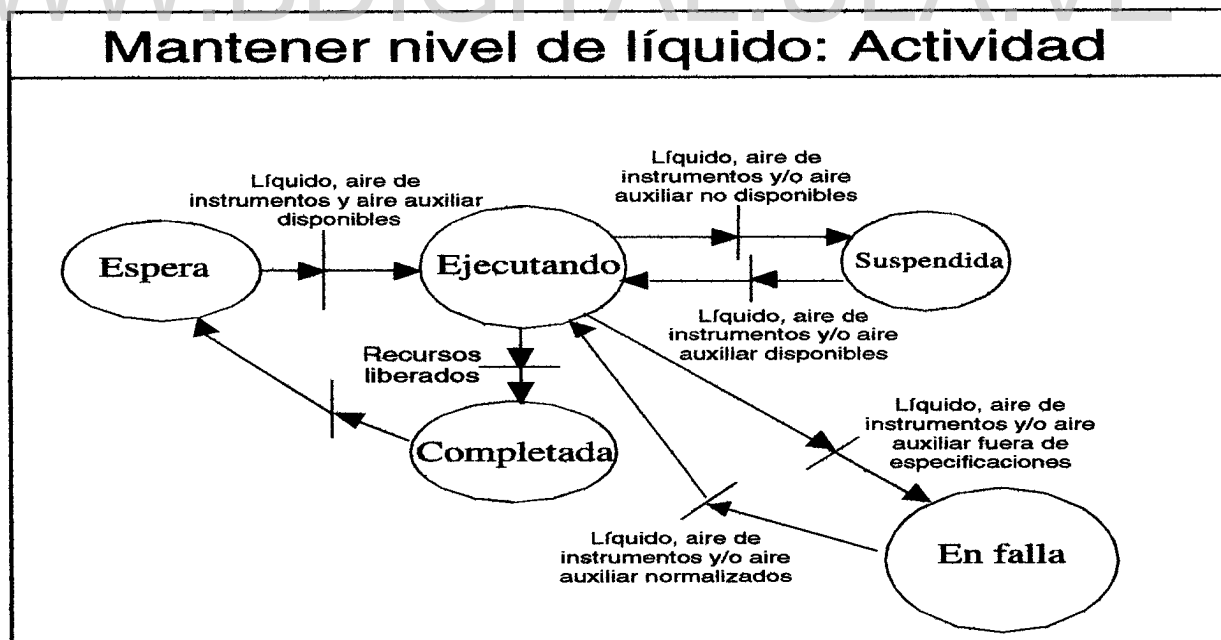


Figura 4.34: Diagrama de Estado de la Actividad *Mantener Nivel de Líquido*.

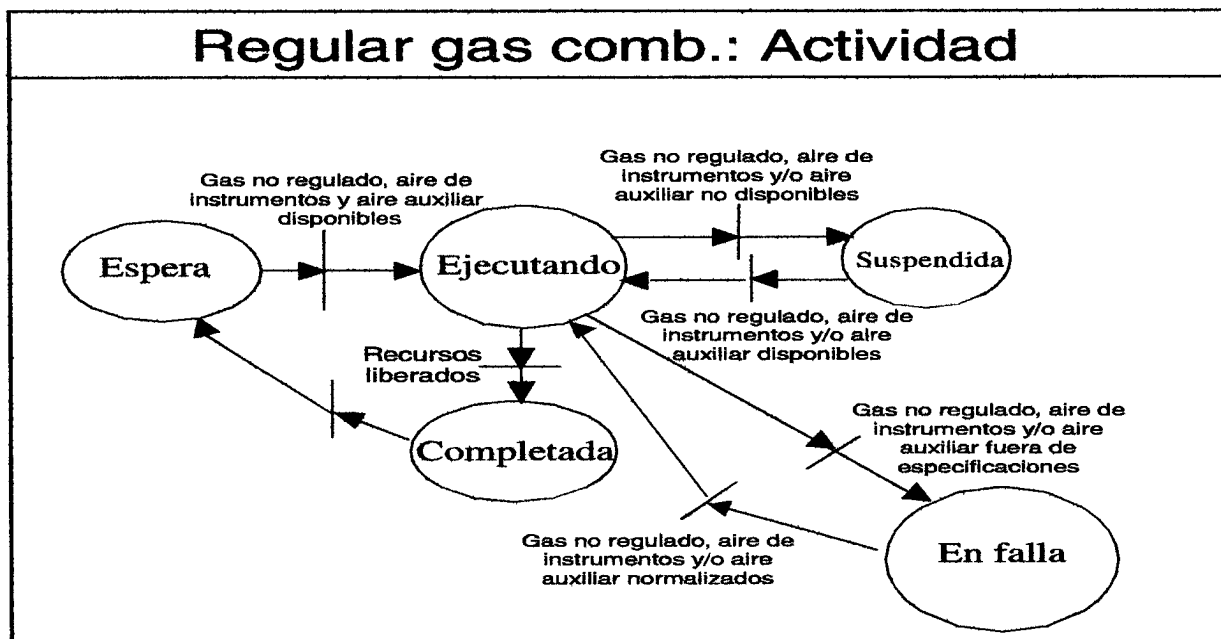


Figura 4.35: Diagrama de Estado de la Actividad *Regular Gas Combustible*.

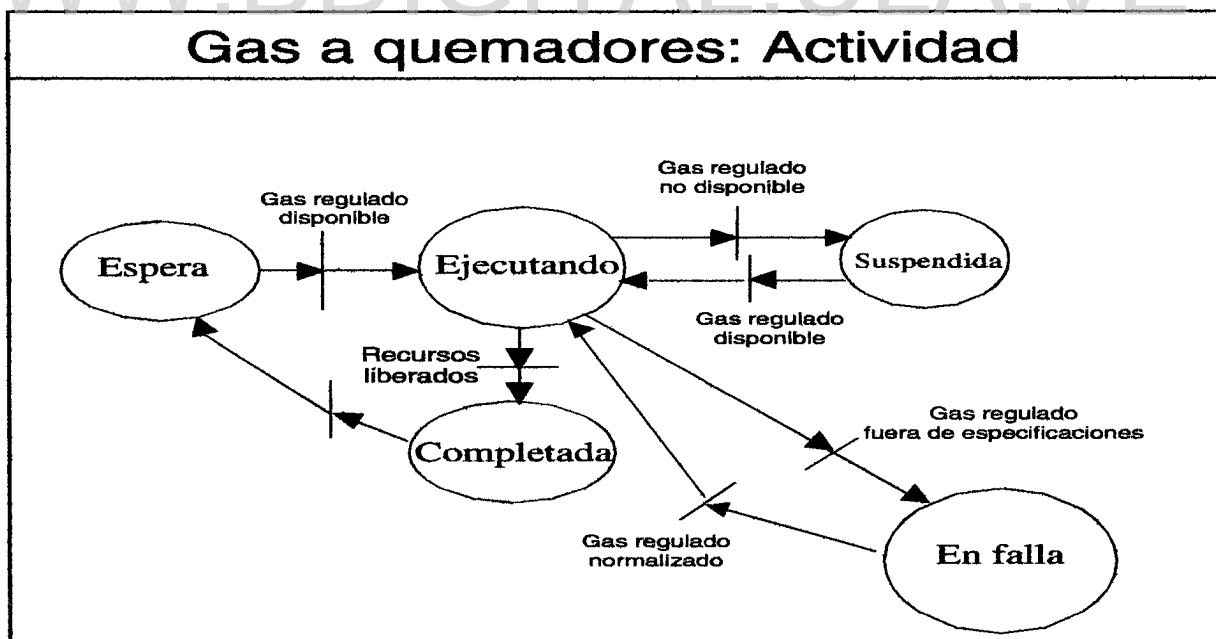


Figura 4.36: Diagrama de Estado de la Actividad *Gas a Quemadores*.

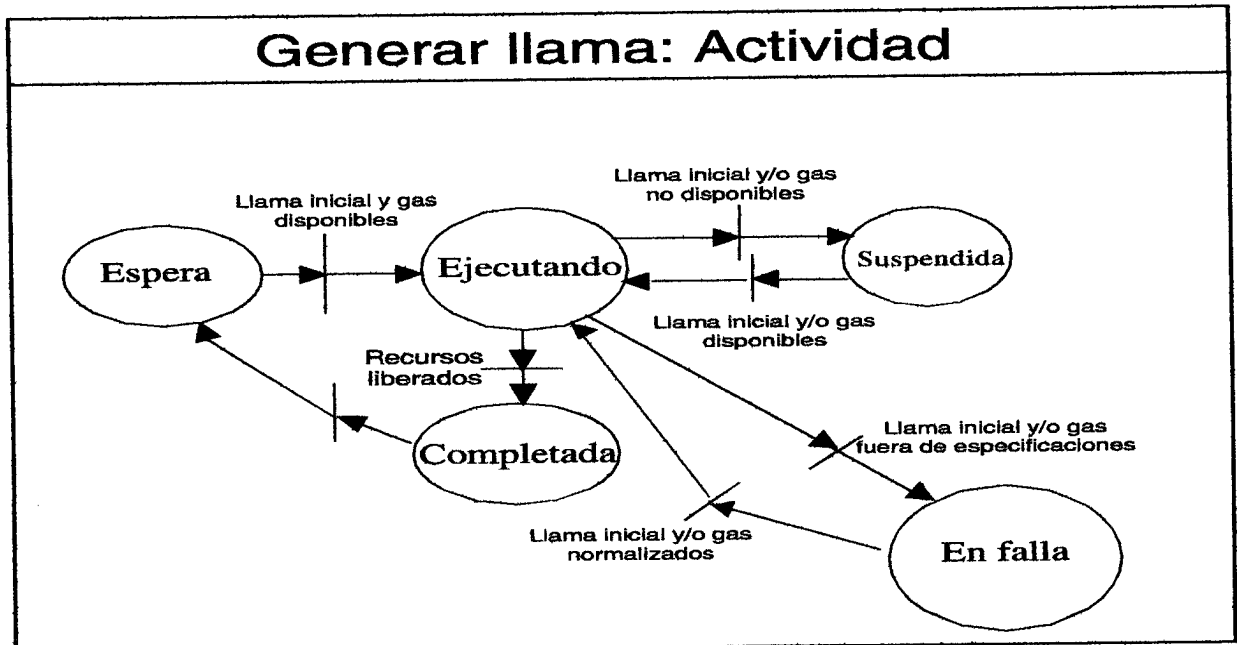


Figura 4.37: Diagrama de Estado de la Actividad *Generar Llama*.

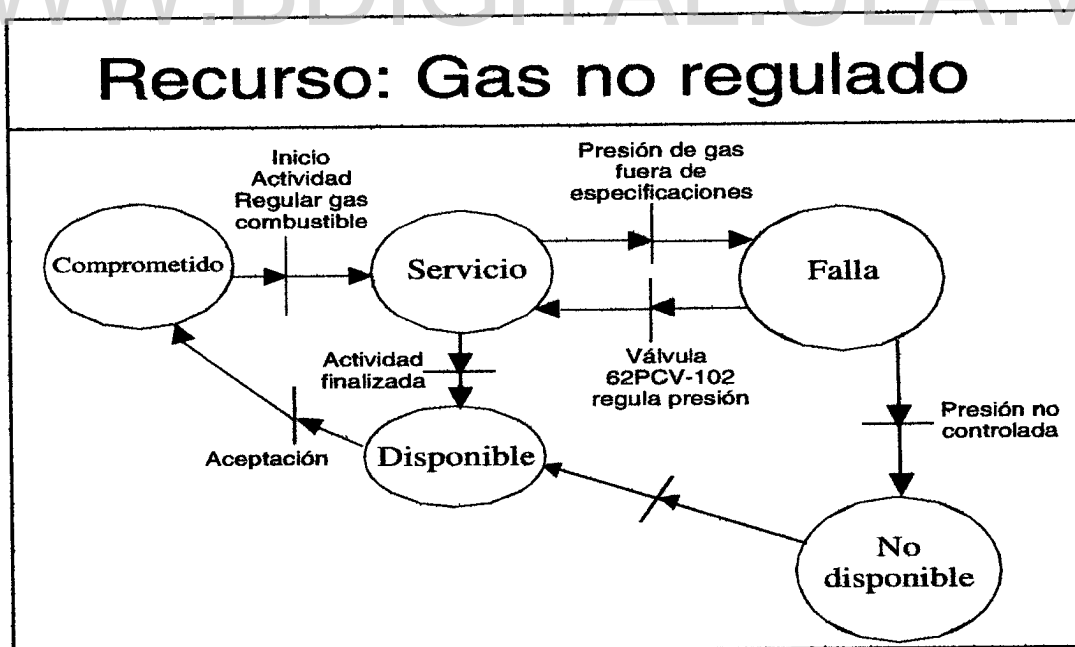


Figura 4.38: Diagrama de Estado del Recurso *Gas no Regulado*.

- Sistema de Aceite Combustible

Este sistema actúa como respaldo del sistema de gas combustible. Para la generación de la llama principal se utiliza el aceite maroil. El lazo de control utilizado es simple, donde la variable controlada es el flujo de aceite combustible.

Dos transmisores duales 62FC-101A y 62FC-101B los cuales envían señal de 4 a 20 mA proporcional al flujo medido por el sensor en la placa orificio 62FI-101. La señal de ambos transmisores llega a un selector de alta señal (HSS) encargado de comparar y elegir la mayor de las señales y emitirla al controlador diferencial - proporcional - integral 62FRC-101 ubicado en el sistema de control distribuido TDC-3000. Este controlador compara la señal del valor medido de la variable con el punto de ajuste fijado por el operador, el cual oscila entre 4 a 10 Ton/h. El error resultante de esta comparación es la orden emitida a la válvula 62FCV-101. La señal de 4 a 20 mA es enviada al convertidor IP 62FY-101 el cual convierte la señal eléctrica enviada por el controlador en una señal neumática al actuador de la válvula de control 62FCV-101, produciéndose así la regulación deseada.

En la línea de aceite a quemadores existe una válvula cabezal 62BI-505 la cual permite el paso de gas en condiciones normales. En cada quemador se encuentra una válvula On-Off que es controlada por el Controlador Lógico Programable (PLC), encargado de la seguridad de la llama. Este controlador se encarga de energizar a las válvulas solenoides de cada quemador incluyendo la válvula cabezal con 24VCC para permitir el paso de aceite a quemadores.

Para lograr una buena combustión del aceite se necesita atomizarlo, esto con el fin de evitar que los quemadores se tapen a causa del efecto chorro. Para lograr una atomización perfecta, se hace necesario controlar la presión del vapor de atomización, regulando el flujo de vapor de atomización, cuya presión de entrada es de 18 bar. Este control es un lazo sencillo, consta de los siguientes elementos:

Un transmisor 62PC-103 que tiene como función enviar una señal de 4 a 20

mA proporcional a la presión del vapor de atomización. La señal llega a un controlador integral 62PICA-103. La función de este controlador es comparar la medición con el punto de ajuste fijado por el operador, que debe estar a un valor nominal de 6.5 bar. El error resultante de esta comparación es la salida a la válvula de control 62PCV-103.

La salida del controlador llega a la válvula 62FCV-102 a través de un convertidor IP 62PY-103 el cual convierte la señal eléctrica enviada por el controlador en una señal neumática al actuador de la válvula de control 62PCV-103, produciéndose así la regulación deseada. Para mantener la temperatura del aceite y evitar la formación de películas en los quemadores, el aceite se recircula a través de una válvula de recirculación de aceite 62XV-102 cuya función es permitir el paso de aceite al sistema de aceite combustible ubicada en STU.

Para controlar el encendido de la llama principal de la cual se generan los gases calientes, se cuenta con un control de llama de quemadores, constituido por un amplificador de llama, un detector asociado a cada quemador y un controlador. El controlador está compuesto por un par de relés: el primer relé se energiza cuando hay presencia de llama en ignitor, y el otro cuando detecta llama en quemador. El segundo relé enclava al primero, el cual envía la señal de presencia de llama en el PLC.

El sistema de seguridad de aceite combustible consta de un transmisor 62PEA-176 ubicado en la línea de aceite a quemadores cuya función es enviar señal de 4 a 20 mA proporcional a la presión del gas. La señal llega a una tarjeta que compara la medición con el punto de ajuste fijado por el operador. Esta tarjeta está calibrada para disparar el sistema cuando la presión es menor a 2.75 bar. También existe un sistema de seguridad del vapor de atomización, el cual consta de un transmisor 62PEA-102 ubicado en la línea de vapor de atomización. La señal llega a una tarjeta que compara la medición con el punto de ajuste fijado por el operador. Esta tarjeta está calibrada para disparar el sistema cuando la presión es menor a 4.14 bar. De esta manera se evitan los riesgos que puedan

existir cuando una variable se sale de sus parámetros de operación.

Existe un transmisor de presión 62PIA-101 el cual envía una señal de 4 a 20 mA proporcional a la presión del gas. Esta señal llega al TDC-3000 en donde se activa una alarma cuando la presión es menor a 5 bar o mayor a 12.4 bar . Al activarse esta alarma el operador deberá tomar las acciones necesarias para normalizar el sistema, ya que se corre el riesgo de que se tapen los transmisores por alta presión y se llegue a disparar la caldera por quemadores apagados.

En las figuras 4.39 a 4.48 se presentan el Modelo de Objetos y el Modelo Dinámico para el Sistema de Aceite Combustible, mostrando para comprensión del lector un solo diagrama de estado de los objetos recursos, a través del cual los demás pueden ser fácilmente obtenidos.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

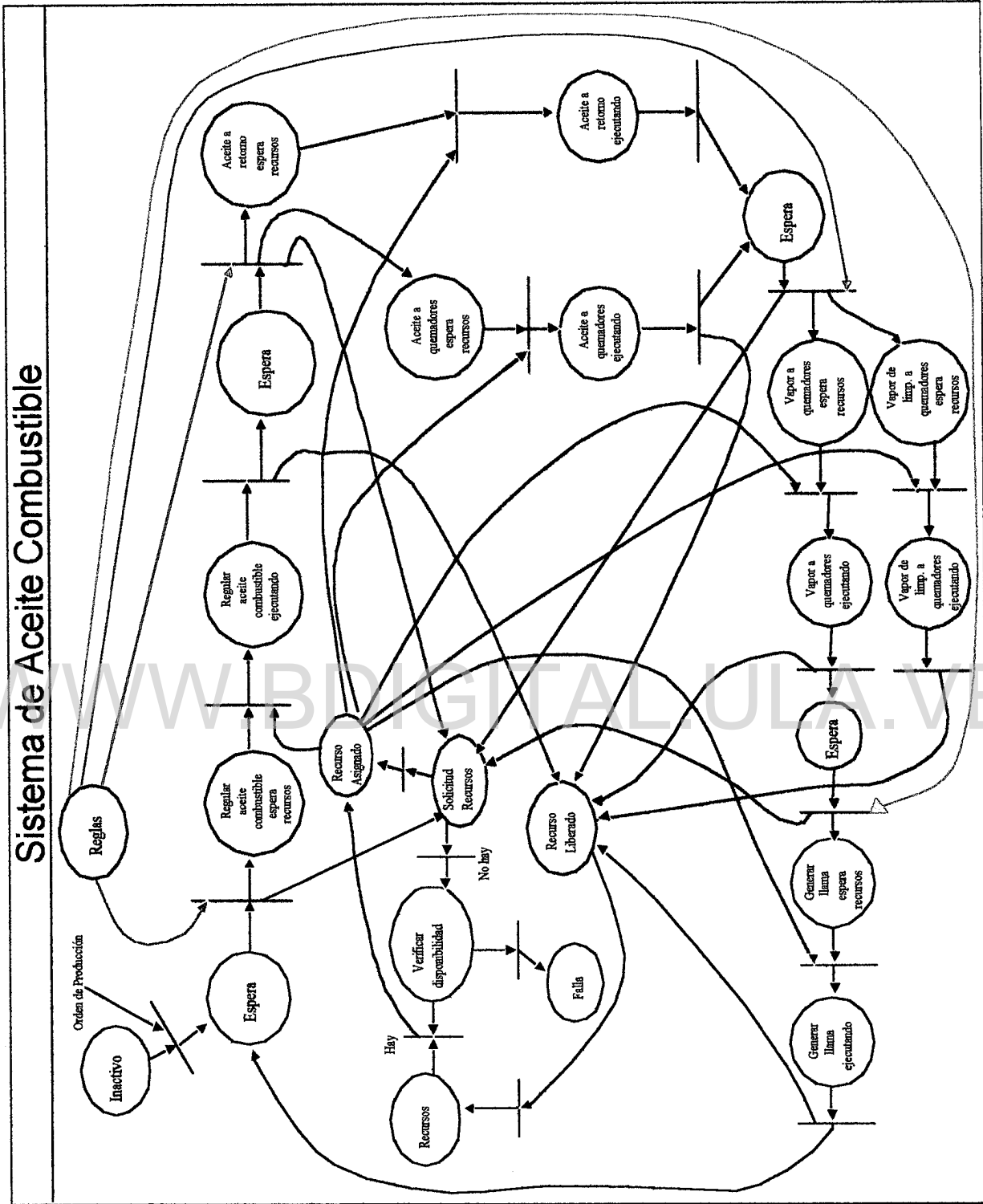


Figura 4.40: Diagrama de Estado del Sistema de Aceite Combustible.

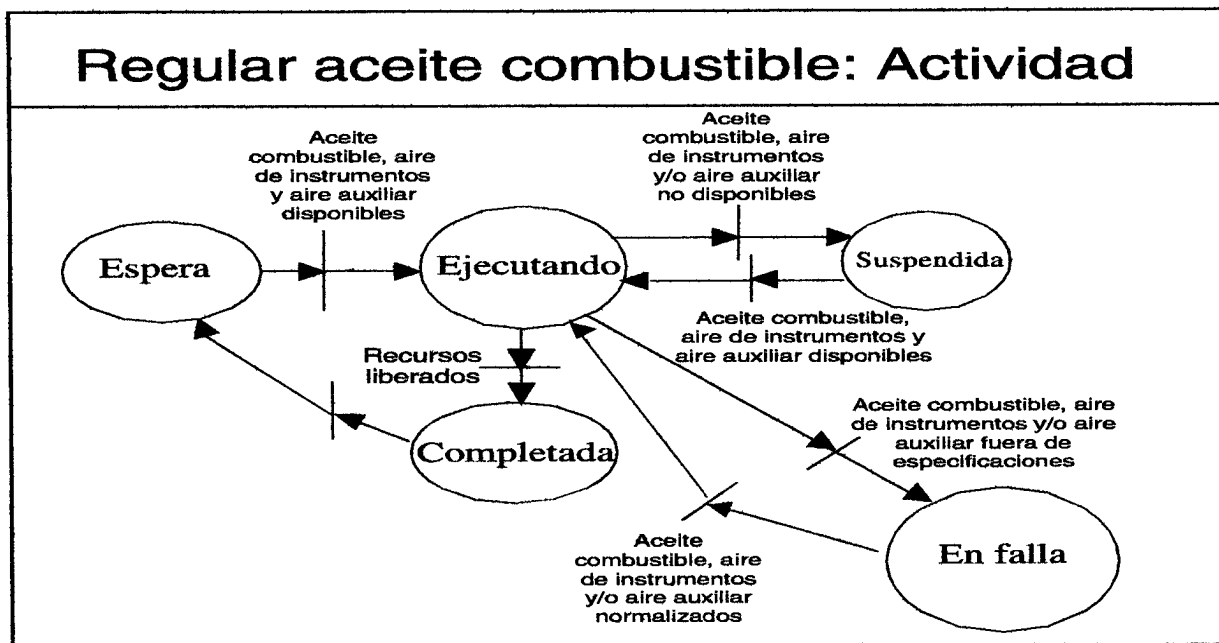


Figura 4.41: Diagrama de Estado de la Actividad *Regular Aceite Combustible*.

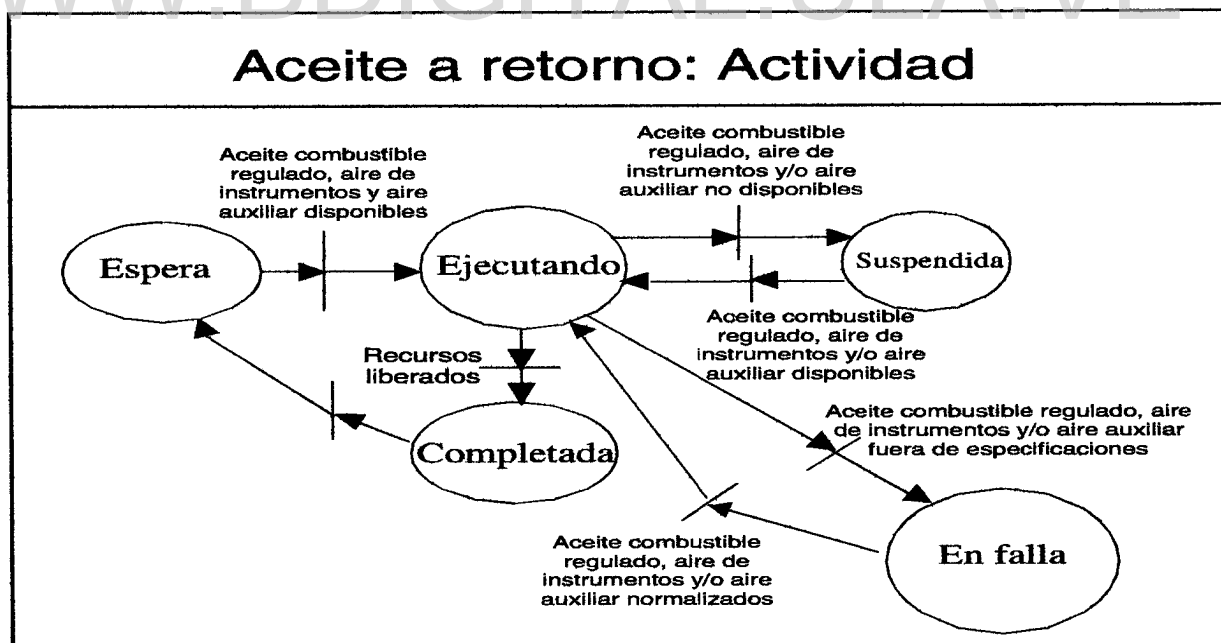


Figura 4.42: Diagrama de Estado de la Actividad *Aceite a Retorno*.



Figura 4.43: Diagrama de Estado de la Actividad *Aceite a Quemadores*.

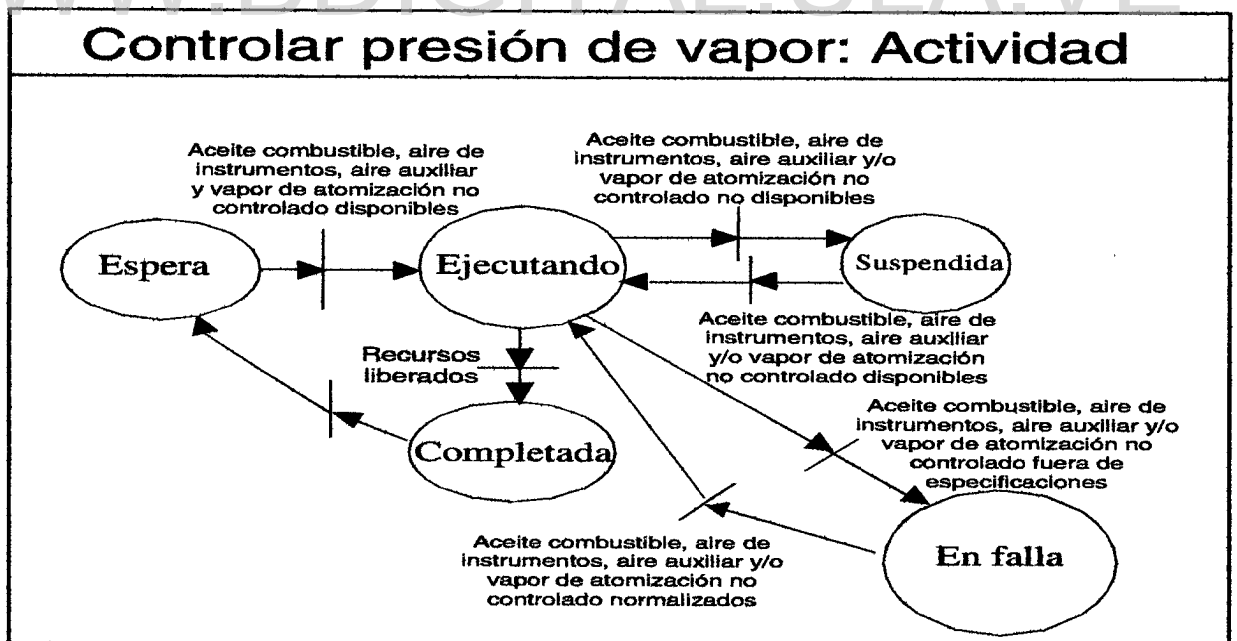


Figura 4.44: Diagrama de Estado de la Actividad *Controlar Presión de Vapor*.

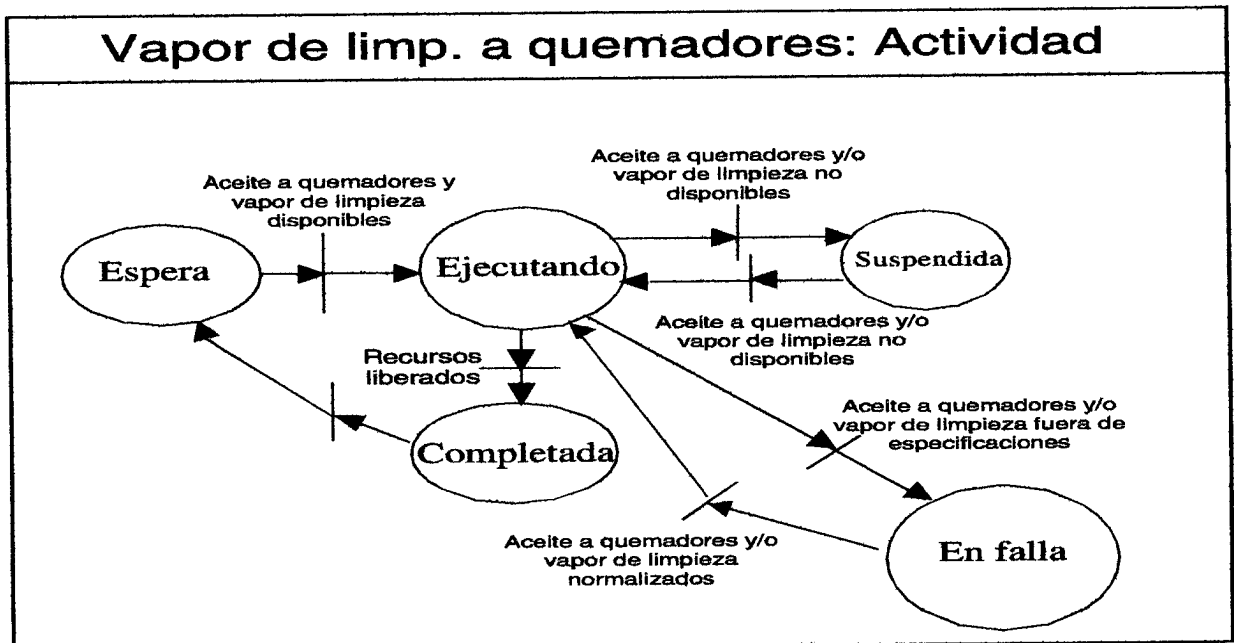


Figura 4.45: Diagrama de Estado de la Actividad *Vapor de Limpieza a Quemadores*.

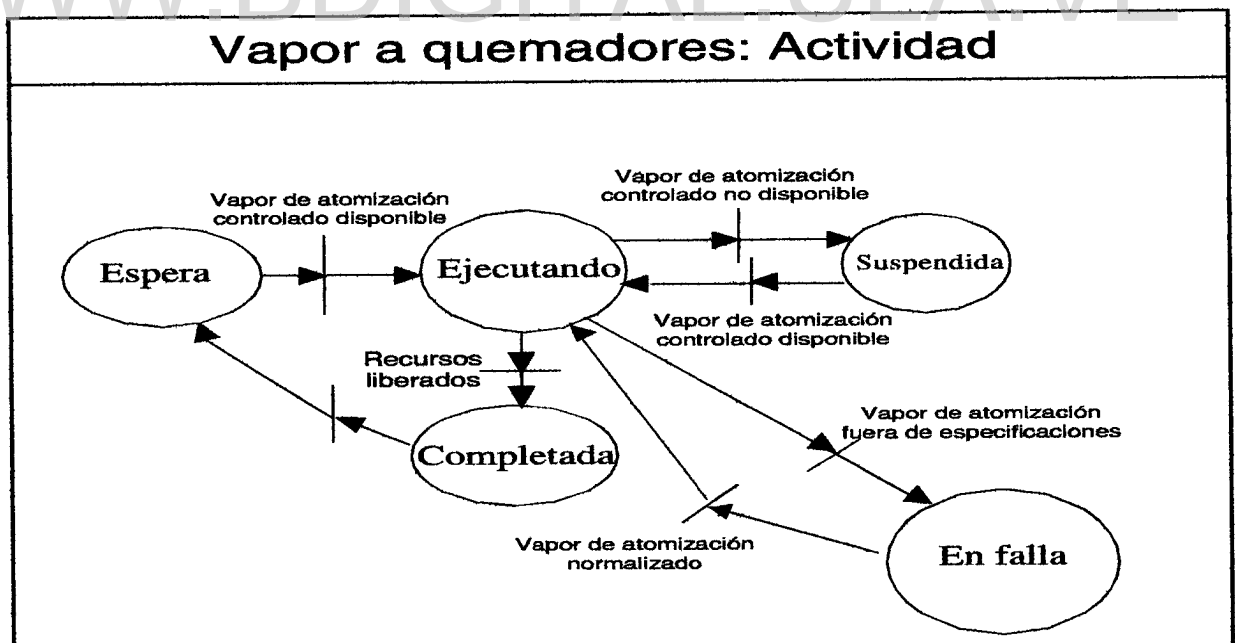


Figura 4.46: Diagrama de Estado de la Actividad *Vapor a Quemadores*.

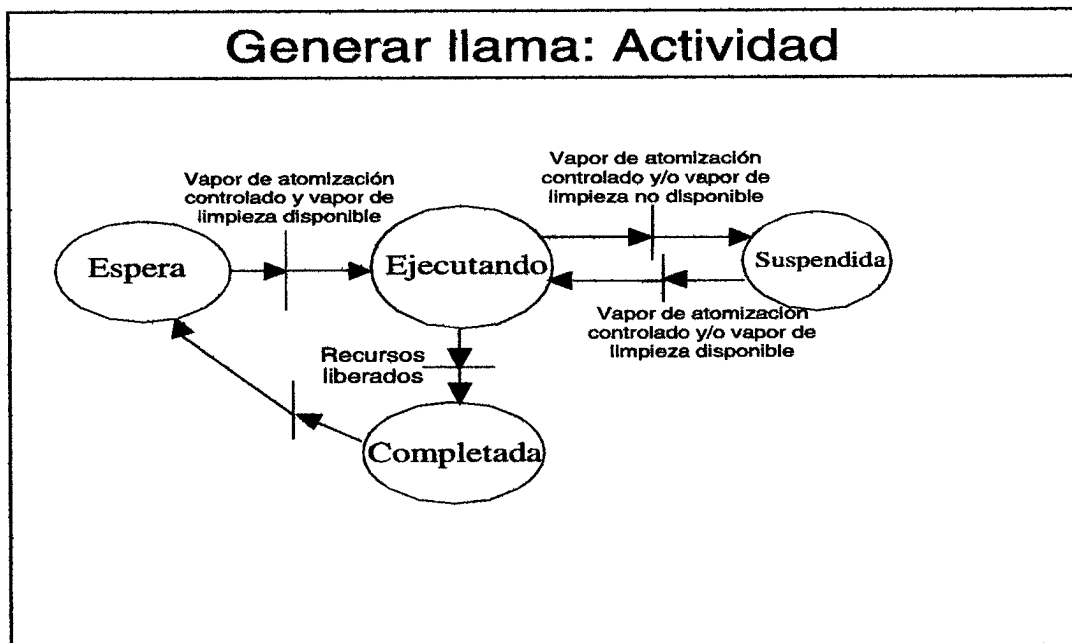


Figura 4.47: Diagrama de Estado de la Actividad *Generar Llama*.

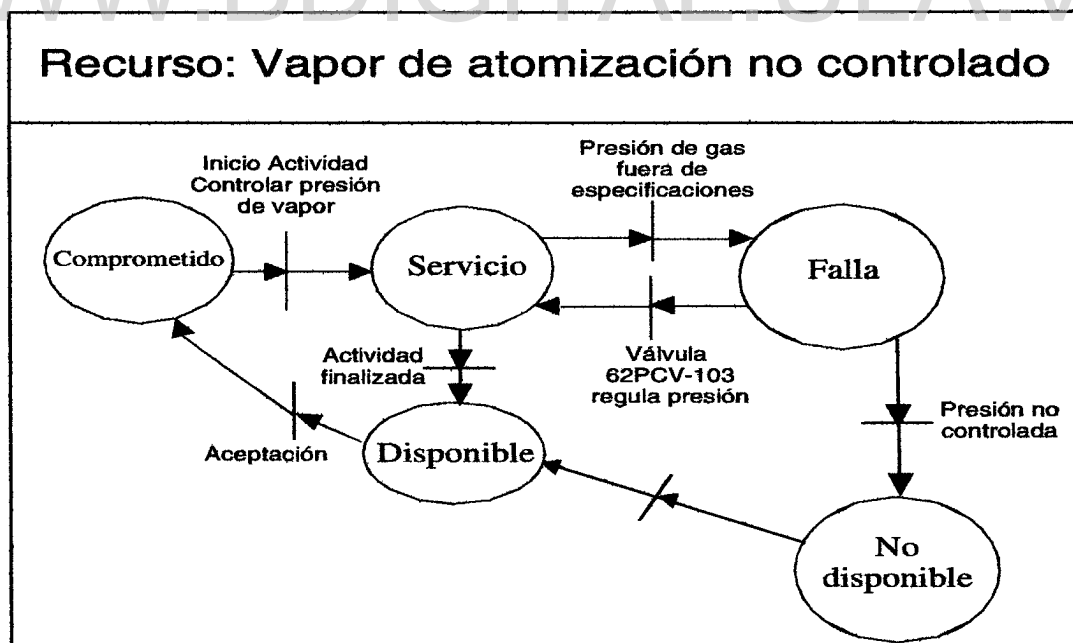


Figura 4.48: Diagrama de Estado del Recurso *Vapor de Atomización no Controlado*.

Conclusiones

Al ser utilizada esta arquitectura como base para el diseño del sistema de supervisión de cualquier unidad de producción, se asegura la integración de la empresa. Cada operación ejecutada en la empresa es vista como un proceso del dominio, compuesto por un conjunto de procesos que cooperan entre sí a través del intercambio de solicitudes y entrega de servicios. Cada uno de estos procesos pueden representarse a su vez por un conjunto de actividades que interactúan directamente con los recursos para ejecutar su misión.

Cada una de las partes del sistema de producción se automatizan de forma modular, eliminando la complejidad del mismo. Es decir, dividiendo dicho sistema en módulos simples, encapsulados, y con interfaces estandarizadas.

Dichos componentes modulares, permitirán la identificación, el análisis y la coordinación de funciones, y de esta forma, se obtendrá el nivel de integración requerido por la empresa, que se verá reflejado mediante la coordinación de procesos de control y operacionales que llenen las expectativas del negocio.

Esta arquitectura permitirá, además, una implementación fácilmente alcanzable, en la cual los objetos pueden estar localizados en una o varias máquinas con tecnologías totalmente distintas, sistemas operativos y lenguajes diferentes, e invocar una operación sobre otro objeto de una manera transparente para el objeto cliente. Todo esto se logra utilizando una plataforma independiente para sistemas distribuidos heterogéneos orientada a objetos conocida como CORBA.

Sin embargo, no se pretende con este trabajo afirmar que ésta sea la única manera para implementar la integración de las actividades en los procesos industriales, pero

sí que dicha integración permite obtener, entre otros, los siguientes beneficios:

- Reducir el tiempo necesario para alcanzar altos niveles de producción para nuevos productos.
- Obtener un entendimiento común de los procesos de la empresa, y por ende la posibilidad de optimizarlos.
- Identificar las necesidades de la organización.
- Reducir el costo de automatizar procesos de producción.
- Asegurar que la información necesaria para el desarrollo y control de cada una de las actividades sea correcta y oportuna.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Bibliografía

Aalst, W. (1996). Three good reasons for using a Petri-net-based workflow management system (On line). Disponible en : <http://wwwis.win.tue.nl/wsinwa/publications.html>

Aalst, W. (1998). The Application of Petri Nets to Workflow Management (On line). Disponible en: <http://wwwis.win.tue.nl/wsinwa/jesc/jesc.html>

Aalst, W. (1999). On the Automatic Generation of Workflow Process Based on Product Structures. Computers in Industry, 39(2), 97-111.

Aalst, W. (2000). A class of petri nets for modeling and analyzing Business Process (On line). Disponible en: <http://www.tn.tue.nl/it/staff/wvdaalst>

Aalst, W., van Hee, K. y Houben, G. (2000). Modeling and analyzing workflow using a Petri-net based approach (On line). Disponible en: <http://wwwis.win.tue.nl/wsinwa/publications.html>

American Psychological Association (1994). Publication Manual of the American Psychological Association. (4ta ed.) Washington, DC: Autor.

Carter, G., Murray, M., Walker, R. y Walker, W. (1992). Building Organizational Decision Support Systems. San Diego, EEUU: Academic Press, INC.

Casanave, C. (1997). OMG Document: BOM. Business - Object Architectures (BOA) (On line). Disponible en: <http://www.omg.org>

Chacón, E. (1993). Redes de Petri. Cuadernos de Control. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Chacón, E., Besembel, I., Narciso, F., Montilva, J. y Colina, E. (2000). An Integration Architecture for the Automation of Continuous Production Complexes (Tech.

Rep.). Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Sistemas.

Chacón, E., Besembel, I., Narciso, F., Rivas, R y Márquez H. (2000). A prototype to implement the integrated management of continuous production units (Tech.Rep.). Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Sistemas.

Kosanke, K., Vernadat, F. y Zelm, M. (1999). CIMOSA: Enterprise Engineering and integration. Computers in Industry, 40 (1), 83-97.

Object Management Group, Inc (2000). What Is OMG - UML and Why Is It Important? (On line). Disponible en: <http://cgi.omg.org/news/pr97/umlprimer.html>

Ou-Yang, C., Guan, T. y Lin, J. (2000). Developing a computer shop floor control model for a CIM system - using object modeling technique. Computer in Industry, 41(3), 213-238.

Smendinga, R. (1993). Discrete Event Systems (Tech. Rep). The Netherlands: University of Groningen, Department of Computing Science.

Zwegers, A., Fang S., Pels H. (1997). Evaluation of architecture with CIMOSA. Computers in Industry, 34(2), 187-200.