



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO  
EN INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MODELOS DE INFORMACIÓN EN EL DISEÑO PARA  
MANUFCTURA**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN INGENIERÍA**

**(MECÁNICA)**

**P R E S E N T A**

**ALVARO AYALA RUIZ**



**DIRIGIDA POR: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

***A mi único y gran amor***

***Marya, Shantal y Stephany.***

# INDICE

<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	3
1.2 CIM.....	3
1.3 ESTÁNDARES EN LA INTEGRACIÓN DE EMPRESAS E INGENIERÍA.....	6
1.4 MODELOS DE REFERENCIA Y MODELOS CONCEPTUALES .....	7
1.5 INGENIERÍA CONCURRENTE.....	8
1.6 SISTEMAS CAE .....	9
1.7 MODELOS DE INFORMACIÓN .....	9
1.8 TRABAJOS REALIZADOS EN MODELOS DE INFORMACIÓN .....	10
1.9 ADMINISTRACIÓN DE DATOS DEL PRODUCTO .....	12
1.10 EL CONCEPTO DE DISEÑO PARA X .....	13
1.11 CICLO DE VIDA .....	15
<b>2 DISEÑO PARA LA MANUFACTURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 EL DISEÑO Y LA MANUFACTURA .....	16
2.2 ASPECTOS DE MANUFACTURA.....	16
2.3 DISEÑO PARA MANUFACTURA.....	18
2.4 IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	20
2.5 TRABAJOS DE EVALUACIÓN DE LA MANUFACTURA.....	21
2.6 EVALUACIÓN DE LA MANUFACTURA .....	23
2.7 GUÍAS CUALITATIVAS DE DISEÑO PARA MANUFACTURA.....	24
2.8 GUÍAS CUANTITATIVAS DE DISEÑO PARA MANUFACTURA .....	25
2.9 SISTEMAS COMERCIALES DE DFM.....	26
2.10 PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE LA MANUFACTURA .....	27
2.11 ELEMENTOS A CONSIDERAR EN LA IMPLANTACIÓN DE DFM.....	28
<b>3 OBJETIVOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION .....</b>	<b>30</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	30
3.2 DOMINIO DE LA INVESTIGACIÓN .....	31
3.3 MODELO CONCEPTUAL .....	31
3.4 OBJETIVO Y ALCANCES .....	32
3.5 APORTACIONES .....	33
<b>4 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>34</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	34
4.2 DEFINICIÓN DEL MARCO CONCEPTUAL .....	34
4.3 DESARROLLO CONCURRENTE DE PRODUCTOS .....	39

<b><u>5</u></b>	<b><u>ALGORITMO PARA LA EVALUACIÓN DE MANUFACTURABILIDAD.</u></b>	<b><u>49</u></b>
5.1	INTRODUCCIÓN .....	49
5.2	INDICES DE MANUFACTURABILIDAD .....	49
5.3	ALGORITMO PARA LA EVALUACIÓN DE MANUFACTURABILIDAD .....	54
5.4	EVALUACIÓN DE MANUFACTURABILIDAD .....	60
<b><u>6</u></b>	<b><u>DISEÑO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA MANUFACTURA.....</u></b>	<b><u>70</u></b>
6.1	INTRODUCCIÓN .....	70
6.2	REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES.....	70
6.3	ARQUITECTURA CONCEPTUAL DEL PROYECTO SADET .....	70
6.4	DISEÑO DEL SISTEMA .....	73
<b><u>7</u></b>	<b><u>CASO DE ESTUDIO .....</u></b>	<b><u>83</u></b>
7.1	INTRODUCCIÓN .....	83
7.2	OBJETIVO .....	83
7.3	MODELO DEL PRODUCTO.....	83
7.4	MODELO DE MANUFACTURA.....	85
7.5	EVALUACIÓN DE MANUFACTURABILIDAD DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	85
	<b><u>CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>94</u></b>
	<b><u>REFERENCIAS .....</u></b>	<b><u>96</u></b>
	<b><u>APÉNDICE A .....</u></b>	<b><u>107</u></b>
7.1	ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL MP .....	107
7.2	ESTRUCTURA PRINCIPAL DEL MM.....	108
	<b><u>APÉNDICE B.....</u></b>	<b><u>111</u></b>
7.3	MODELO DE DESARROLLO CONCURRENTES DEL PRODUCTO EN IDEF0. ....	111
	<b><u>APÉNDICE C .....</u></b>	<b><u>123</u></b>
7.4	MODELADOR DE EJES DE TRANSMISIÓN .....	123
	<b><u>APÉNDICE D .....</u></b>	<b><u>127</u></b>
7.5	SOFTWARE EXPERIMENTAL DMX.....	127

## **INTRODUCCION**

El manejo de la información entre empresas y en el interior de las mismas es un aspecto crucial para poder competir o sobrevivir. La integración de la información en una base de datos compartida por los distintos departamentos y /o empresas constituye uno de los factores que facilitaría en gran medida la aplicación de métodos de trabajo basados en la ingeniería concurrente.

Hasta el momento, los sistemas que mayor implantación han tenido son los sistemas CAD/CAM, principalmente para el intercambio de información geométrica, recientemente se está produciendo un incremento en la instalación de sistemas PDM (Product Data Management).

Los problemas principales en la transmisión y manejo de información reside en la definición de las entidades geométricas utilizadas por los diferentes sistemas CAD/CAM. Esta definición obliga a que el número y tipos de entidades consideradas en cada sistema sea estrictamente igual así como la descripción de cada una de ellas.

Esta situación, ha dado lugar a que empresas del sector manufacturero posean tantos sistemas CAD/CAM distintos como clientes importantes tienen, lo que conduce a un incremento en el costo, reducción de la eficiencia, con problemas de producción y gestión de la producción, etc.

La integración e intercomunicación de los sistemas computarizados es el medio que permite desarrollar los métodos de trabajo de la ingeniería concurrente. Como consecuencia del entorno heterogéneo, tanto desde el punto de vista de los grupos como de las aplicaciones, se impone la necesidad de utilizar normas internacionales en cada uno de los niveles a fin de hacer posible la integración.

Desde el punto de vista del usuario, esta integración se traduce en términos de disponibilidad, accesibilidad y consistencia de la información. Resulta por tanto evidente que la integración de la información es un factor clave en la aplicación de la ingeniería concurrente. Sin embargo del análisis de los sistemas comerciales utilizados actualmente se han venido derivando una clara inadecuación a este requerimiento

El reto importante en la integración de información es la necesidad de proveer para los diferentes niveles de usuarios los requerimientos adecuados para cada uno de ellos. Es importante que la integración sea considerada desde varias perspectivas y diferentes niveles de abstracción para proveer la información de diseño y manufactura necesaria para todos los usuarios. A la manera de integrar y manejar la información se ha llamado modelos de información o marcos de trabajo.

Se han identificado dos modelos de información como fundamentales para asistir al diseño (Molina, 1999): Uno es el llamado Modelo del Producto (MP) que representa la información de productos y el otro es el Modelo de Manufactura (MM) que representa las capacidades de manufactura de fábricas específicas.

Para proveer soporte computacional a las actividades particulares del ciclo de vida es necesario contar con un conjunto de aplicaciones de ingeniería y herramientas de software, basándose en los modelos del producto y de manufactura.

Los sistemas CAE basados en modelos de información soportan el diseño de productos desde diferentes perspectivas y el diseño del proceso de manufactura simultáneamente. Estos sistemas son integrados por diversos programas que interactúan con los mismos modelos de información. Cada programa realiza en forma independiente una tarea específica del diseño, pero a través de un ambiente de integración, pueden pedir y proporcionar información a los otros programas del sistema y modelos de información.

Durante las primeras etapas del diseño de productos se utilizan métodos y herramientas (QFD, TQM, Diseño robusto y CFD) que ayudan a la definición de especificaciones desde el punto de vista de los requerimientos del cliente (Ostrosi, et al. 2003). Para reducir o eliminar los cambios y rediseños, métodos y herramientas de análisis (DXF) son usados para evaluar los procesos de ensamble y manufactura en las fases iniciales del diseño del producto (Hu, 2003).

El presente trabajo propone un proceso de evaluación del diseño para manufacturabilidad soportado por modelos de información, en el contexto de la ingeniería concurrente. Además de contribuir en el desarrollo de herramientas computacionales, basadas en los modelos de información para auxiliar la evaluación de la manufacturabilidad de productos.

Este trabajo está organizado en seis capítulos. Los antecedentes de los conceptos de manufactura asistida por computadora, ingeniería concurrente, modelos de información y ciclo de vida del producto son revisados en el capítulo 1. En el capítulo 2 se estudia los conceptos y trabajos realizados sobre el diseño para manufactura. En el capítulo 3 se describen los objetivos y alcances de esta investigación. En el capítulo 4 se proponen los modelos de información para soportar el diseño para manufactura. Para lograr lo anterior se propone la definición de proceso de desarrollo del trabajo, la cual servirá como base para incorporar el concepto de ciclo de vida del producto, definir lo que se conoce como documentos preliminares, proponer los parámetros para la evaluación de la manufactura y finalmente se presenta la metodología para la evaluación de la manufactura. En el capítulo 5 se describe el algoritmo propuesto para realizar el diseño concurrente de productos y se incorpora la evaluación de la manufacturabilidad. Este algoritmo considera la estructura de los modelos de información propuestos. En el capítulo 6 se muestra el desarrollo de diseño de la herramienta computacional que integra los modelos de información y la metodología de evaluación de la manufactura. Finalmente, las conclusiones contienen la presentación de las aportaciones de esta tesis.

# 1 ANTECEDENTES

## 1.1 *Introducción*

Existen diferentes puntos de vista para que las empresas incrementen la función de manufacturabilidad. En sistemas de producción, los sistemas de manufactura han cambiado gradualmente en sistemas de manufactura flexible, para incrementar la habilidad de responder a las necesidades de los clientes. En la estructura organizacional, la estructura multiniveles se ha reducido a redes estructuradas de un solo. Ingeniería concurrente (CE), manufactura ágil y ingeniería virtual han sido introducidas. En la administración asistida por computadora, aplicaciones sencillas se han transformado en sistemas de manufactura integrada por computadora CIMS. Y todos estos los cambios son provocados por un solo elemento la competencia (Jin-Hai, 2003).

Basado en Jin-Hai (2003), podemos decir que, la manufactura ágil es la estrategia para enfrentarse a los cambios e incertidumbre con la aplicación de “*core competencias*” (combinación de bases de conocimiento y complemento de habilidades en un grupo, que resulta en la ejecución de uno o más procesos de clase mundial), para suministrar productos personalizados.

La manufactura ágil es el uso sintetizado de los desarrollos y tecnologías maduras y de los métodos de manufactura. Es decir, es mutuamente compatible con el CIM, la manufactura esbelta, TQM, etc.

Los sistemas de manufactura asistida por computadora CIM (Computer Integrated Manufacturing) pertenecen a la clase de sistemas de eventos discretos, los cuales contienen procesos de una alta complejidad y diversas formas de compartir recursos. Las actividades están dirigidas por reglas operacionales.

Sin embargo, las técnicas matemáticas tradicionales son inapropiadas para el CIM. Por lo que esto trae nuevos retos como desarrollar nuevos modelos de marcos conceptuales, técnicas de análisis y métodos de control. En las últimas décadas varios investigadores han desarrollado técnicas de sistemas de eventos discretos para ser usados como base en el desarrollo de conceptos de sistemas y teoría de control, ciencias de la computación, análisis y control de CIM.

## 1.2 *CIM*

Hoy las compañías se encuentran en una batalla continua por la supervivencia. El campo de batalla no es muy grande dentro de la región donde se localiza la empresa, pero incluye al mundo. Las compañías tienen competidores, clientes y proveedores alrededor del globo. Para sobrevivir las compañías tienen que ser mejores (Remko, 2002).



En una economía global la ventaja de la competitividad manufacturera está directamente conectada con la capacidad de introducir nuevos productos en el mercado en el menor tiempo, al menor costo y con alta calidad (Rozenfeld, 2000).

En la industria de la manufactura, el CIM es reconocido cada vez más como vital para obtener el éxito en el clima competitivo que se vive hoy. El CIM enfatiza la integración y coordinación de información en todas las áreas funcionales de una organización. CIM combina sistemas y tecnología diseñadas para integrar datos e información de las empresas (Agbasi, 2004).

El CIM ofrece grandes oportunidades para incrementar la competitividad en la manufactura. La motivación del CIM está basada en la necesidad de la industria de manufactura, para responder a los cambios más rápido que en el pasado. El CIM tiene potenciales aplicaciones en estrategias de manufactura, tales como empresas ágiles, virtuales, etc. (Gunasekaran, 2001).

De acuerdo con Rembold (1991) cuando se construye un modelo para CIM se deben considerar aspectos como: funciones de la empresa, integración de la administración de la base de datos, flujo de material y producto, flujo de información, interfaz y protocolos de comunicación, jerarquías de las funciones de planeación y control y finalmente incluir el tiempo.

#### *El concepto de CIM de IBM*

Con la introducción de la computadora en la fábrica. IBM se dio cuenta rápidamente que la industria de la manufactura constituía un enorme mercado de software y hardware. Para el principio de los 70's IBM desarrolló la filosofía de un CIM general llamado Información de Producción Orientada a Comunicación y Control de Sistemas (COPICS). COPICS soportaba la administración, la toma de decisiones y varias aplicaciones. Ponía un fuerte énfasis en la comunicación y bases de datos. Con este concepto, soluciones de procesamiento de datos individuales se unieron en un concepto general, e IBM fue el pionero en el concepto CIM (Rembold, 1991).

#### *El modelo jerárquico AMRF de NIST*

Este modelo fue propuesto por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, aunque formalmente la organización fue conocida como Agencia Nacional de Estándares NBS. El modelo Facilidad de Investigación de Manufactura Avanzada (AMRF) se realizó para operar y trabajar con estándares de hardware y software que se instalarían en sistemas de manufactura controlados por computadora. El modelo soportaba un ambiente de manufactura controlado dinámicamente. Una computadora jerárquica y un sistema de sensores planeaban y controlaban las operaciones de manufactura. El modelo consiste de tres elementos que se comunicaban entre sí: sistema de información guía, sistema de control y sistema de planeación y diseño (Rembold, 1991).

#### *El concepto de CIM para Siemens AG*

Las actividades del Siemens en la manufactura eran guiadas por una fuerte y estructurada filosofía de CIM. La compañía vendía productos de procesamientos de datos y estos se usaban en numerosas actividades de manufactura (Rembold, 1991).

El modelo de Siemens comprende las principales funciones: planeación, ventas, compras, PPC, CAD, CAQ y CAM. Estas funciones son interconectadas por un flujo de información. La tarea de este flujo es el procesamiento y distribución de datos en una manera rápida y concisa. Para llevar a cabo el procesamiento de datos en un sistema de manufactura se incorpora un modelo jerárquico de empresas. Cada nivel jerárquico tiene sus propios requerimientos de procesamiento de datos y existe un flujo de instrucciones a partir de los niveles altos hasta los más bajos. Una característica del modelo de Siemens es la incorporación de una organización asistida por computadora que contiene: contabilidad, personal y finanzas. Debido a esto existe una liga muy fuerte entre CAD y CAM (Yeomans, 1985, Rembold, 1991).

#### *El concepto CIM de la Corporación de Equipo Digital*

Para la empresa Digital Equipment Corporations el termino CIM significa digitalizar el desarrollo de los procesos de manufactura con la asistencia de la computadora y la integración del procesamiento de la información de todas las actividades de la empresa.

El modelo de Digital se parece al de Siemens y tiene muchas características idénticas. Las actividades individuales de este modelo son soportadas por un modelo de tecnología estructurado. Siendo este modelo una extensión del modelo OSI (Organización Internacional de Estándares). El modelo asume que la manufactura integrada por computadora es una aproximación orientada al negocio para la automatización de un sistema de control jerárquico por computadora. Las metas y objetivos de este modelo son definir un sistema de manufactura integrado por computadora tan consistente, como sea posible para proporcionar documentos referentes a la planeación e implementación distribuida.

Con esto el sistema de control completo es dividido en modelos funcionales que reflejan el negocio y sus datos. El diseñador de un sistema CIM empieza con el análisis de todas las actividades de manufactura y define sus funciones junto con el flujo de datos. De esta forma con la información generada el trazado del sistema físico puede ser hecho. Un modelo funcional y un modelo físico de un sistema de manufactura y sus subsistemas son el resultado. Esto da un buen sistema que modulariza las funciones para reutilizar paquetes y define claramente las interfaces para la fácil configuración del sistema (Rembold, 1991).

#### *Modelo ESPRIT CIM-OSA*

El Programa Estratégico Europeo para la Investigación y Desarrollo en la Tecnología de la Información (ESPRIT) es un proyecto que fue creado en 1981 por la unión de las industrias europeas y la comisión europea. Está orientado a incrementar la competitividad industrial de la comunidad europea. La manufactura integrada por computadora es importante dentro del programa ESPRIT porque la economía europea depende fuertemente de las industrias manufactureras.

La estrategia de ESPRIT ha sido la creación de un ambiente en el cual los sistemas de producción multi-vendedores puedan ser implementados por un costo razonable. Para este propósito una arquitectura de sistema abierto se creo para permitir la configuración de instalaciones de manufactura desde módulos genéricos.

ESPIRIT es un programa industrial orientado a la Investigación y el Desarrollo (R&D) (Rembold, 1991). Con la globalización de las actividades de la manufactura y el incremento de los requerimientos en interoperabilidad. La estandarización juega un papel muy importante en R&D y en las actividades relacionadas con la integración de empresas e ingeniería (Chen, 2004).

Una interfaz de ejecución es usada para ligar los servicios de procesamiento de datos básicos a la estructura de control deseada. La infraestructura de integración del modelo CIM-OSA tiene los siguientes componentes: aplicación, inicio y servicio, administración de procesos de negocios, administración de la información, intercambio de servicios.

CIM-OSA (Computer Integrated Manufacturing- Open System Architecture) (Vernadat, 1990) tiene tres niveles: genérico, parcial y particular. El nivel genérico comprende la construcción básica con la cual el modelo de referencia se puede construir. El nivel parcial consiste de modelos de referencia, construidos usando el nivel anterior. Estos modelos pueden ser instanciados para representar una compañía específica. La empresa es representada en términos de la información, función, organización y recursos, necesarios para realizar las operaciones de la empresa (Molina, 1994).

Dentro del concepto del modelo CIM-OSA una empresa consiste de ingeniería y funciones de operación. Las funciones de ingeniería contienen la arquitectura de referencia y los recursos son usados para estructurar y elevar una operación de empresa. El modelo asume que hay una comunidad de soporte que provee software estandarizado y modelos de hardware para manufactura. Desde que el software y los módulos de hardware son hechos de acuerdo a los estándares del CIM-OSA la configuración del sistema es muy fácil. El usuario puede tratar varias estrategias de manufactura y puede optimizar estas con ayuda del modelado y simulación de herramientas. Una parte importante de estandarización es la arquitectura de CIM-OSA, ya que contienen librerías de funciones genéricas que permiten configurar una arquitectura particular

### **1.3 Estándares en la integración de empresas e ingeniería**

La integración en las empresas ha sido estudiada de varias maneras de acuerdo con Vernadat (1996). El Comité para la Estandarización Europea (CEN), en CEN TC-310 WG1, ha reconocido tres niveles de integración 1) Física (interconexión de dispositivos, maquinas CN, redes de computadoras, etc.); 2) Integración de aplicaciones (La cual trata de interoperabilidad entre software de aplicaciones y sistemas de bases de datos; 3) Negocios (coordinación de funciones que administran, controlan y monitorear los procesos de negocios). La integración puede ser obtenida en términos de datos (datos de modelado), organización (modelado de sistemas y procesos) y comunicación (modelado de redes de computadoras) (Cheng, 2004).

El desarrollo de estándares en el área de integración de empresas e ingeniería inició a finales de los 70's con la adopción del estándar ISO 7498 para la Interconexión de Sistemas Abiertos conocido como modelo OSI. En los 80's se desarrollo la norma ISO9506 Especificación de Mensajes de Manufactura. (MMS). Así desde los inicios de los 90's , los esfuerzos para el desarrollo de estándares de integración a nivel físico se han incrementado (conceptos, principios, arquitecturas y metodologías) (Cheng, 2004).

A nivel internacional la ISO TC184 (Industrial Automation System and Integration), es el actor principal en elaborar estándares en el área de Integración de Empresas e Ingeniería (EMI). Se tienen, dos actividades principales SC5 (Datos Industriales) y SC4 (Arquitecturas, Comunicación e Integración de Marcos de Trabajo). Las actividades de la Comunidad Europea en estandarización son principalmente llevadas dentro del marco del CEN TC313 WG1 (Arquitectura de Sistemas), el WG1 principalmente se ha enfocado en manufactura discreta.

Los estándares en EMI se refieren a conceptos y principios. No existen estándares de procesos, empresas o datos. Los estándares se pueden dividir en dos: marcos de trabajo para la integración de empresas y lenguajes de modelado(Cheng, 2004).

#### *Marcos conceptuales*

De acuerdo con Cheng (2004), se tiene cuatro marcos conceptuales estándar: 1) la Norma Experimental Europea (ENV), ENV 40003 Modelado de Marcos de Trabajo para la Integración de Empresas, (2) la norma ISO 14258 Conceptos y Reglas para los Modelos de Empresas, (3) la norma ISO 15704 –Requerimientos para la Arquitectura de Referencia de Empresas y (4) la norma ISO/IEC 15288 Sistemas de Administración del Ciclo de Vida/ Procesos del Ciclo de Vida.

En la mitad de los 90's se realizaron grandes esfuerzos para obtener un pre estándar en la Integración de Empresas conocido ahora como ISO 15704 (Enterprise Reference Architecture and Methodologies). Este estándar se basa en la norma ENV 40003, Metodología y Arquitectura Generalizada de la Empresa/Referencia GERAM (Cheng, 2004), con la significativa contribución de CIM-OSA (Harding, 1999). La metodología integrada GRAI (GRAI-GRID, GRAID-NET) (Harding 1999, Toh 1999), la Arquitectura de la Empresa / referencia PERA (Purdue Enterprise-Reference Architecture) (Toh, 1999), RM-ODP (Reference Model for Open Distributed Processing) (Molina, 2002).

Además de los anteriores modelos de CIM existen otros, tales como el de Vernadat que tiene tres niveles de integración el sistema de integración físico, la integración de la aplicación y finalmente la integración de negocios (Loutier, 2001). Modelos de referencia que han permitido integrar el prediseño de barcos considerando la administración de la calidad (Hassan, 1998), una arquitectura para la estimación de costo ha sido desarrollada basada en el Modelo de Referencia de Ingeniería de Manufactura (MERM) (Brinke, 2004),

La investigación en los modelos CIM ha contribuido en trabajos de modelos de empresas y también al desarrollo de nuevos conceptos de modelos de manufactura. Han evolucionado de soportar el diseño y la implementación de sistemas CIM en metodologías de modelado de empresas como los mencionados anteriormente (Molina, 1999).

### **1.4 Modelos de referencia y modelos conceptuales**

Los modelos conceptuales en el campo de la manufactura, se han utilizado para clasificar, evaluar y desarrollar sistemas CAD, modelar e implementar sistemas CIM, y asistir en el desarrollo de estándares. Los modelos de referencia proveen

representaciones generales de diferentes aspectos del sistema. La terminología, metodologías y estándares usados en la determinación de los modelos de referencia determinan sus estructura y contenido (Molina et al, 2002). Los modelos conceptuales deben ser lo suficientemente genéricos para soportar la descripción de una gran variedad de sistemas independientes de cualquier configuración o tecnología.

El modelo de referencia determina la forma en la cual la información relacionada con la empresa es capturada y almacenada (Toh, 1999).

Los modelos conceptuales y las arquitecturas son usadas para desarrollar sistemas de información en manufactura y son basados en el concepto de modelo de referencia. Los modelos conceptuales se refieren a la representación organizada de diversos tipos de situaciones que ocurren durante la integración de la empresa (Molina, 2002). La estructura se refiere a la información en términos de bases de datos, redes y herramientas para la integración de la empresa. La estructura de datos es necesaria para trabajar con bases de datos y la información necesaria para definir a las empresas de manufactura (Harding, 1999).

Los sistemas CIM eran exclusivos de grandes compañías cuyas actividades de negocios eran determinísticas, sin embargo ahora son viables para las pequeñas y medianas empresas (SME), tal es el caso del modelos conceptuales propuesto por Bagshaw et al. (1999) para desarrollar el prototipo de Análisis de Datos de Producción (PDA). Molina propuso un modelos conceptuales para representar las instalaciones de manufactura (1999). En años recientes se le ha dado una gran atención a la coordinación de la manufactura global (GMC), por lo que Liu et al. (2004) proponen un modelo conceptual de información y modelos de conocimiento para soportar las decisiones de GMC.

## **1.5 Ingeniería concurrente**

El concepto de CE fue propuesto inicialmente como una forma de reducir el tiempo de diseño del producto (Prasad, 2000, Hu et al. 2003), desde entonces varias interpretaciones han emergido.

El término CE fue acuñado en los EUA en 1989. Es una forma de trabajar, donde las diversas actividades de ingeniería desarrolladas durante el diseño y producción de productos , son integradas y ejecutadas en forma paralela como sea posible (Sohlenius, 1992).

Es un método de diseño que trata de integrar tanto las actividades del proceso de diseño como todos los elementos del ciclo de vida del producto (Prasad, 1996).

Para Rosenthal CE significa pensamiento simultaneo e integrado para el desarrollo del producto, involucrando expertos en el diseño de producto, manufactura, servicio, costos, ventas, etc. Distribuidores y clientes también deben estar involucrados en el proceso (Rozenfeld, 2000).

La Ingeniería Concurrente es un enfoque integrado y sistemático, para el diseño concurrente del producto y los procesos relacionados, incluyendo manufactura (Dieter, 2001)

Winner menciona que la filosofía de la CE requiere que el diseño del producto y los procesos relacionadas con este sean llevados a cabo concurrentemente y todos los elementos del ciclo de vida del producto sean considerados al inicio del desarrollo del proceso (Yan, 2001).

El análisis de estas definiciones muestra que existen diferentes enfoque de la CE, pero existen factores comunes como existencia de grupos, personas con diferentes cualidades, equipos multidisciplinarios, desarrollo de actividades simultaneas (Rozenfeld, 2000).

Para incrementar la productividad en el CIM y evitar los errores en la administración de la Tecnológica de información (por sus siglas en inglés IT), se ha combinado el potencial de la Ingeniería Concurrente y la Administración del Conocimiento (por sus siglas en inglés KM) (Prasad, 2000).

## **1.6 Sistemas CAE**

Los sistemas que asisten a los equipos de diseño simultaneo en el acceso a las fuentes de información del producto y de manufactura son llamados sistemas CAE (Computer Aided Support of Simultaneous Engineering) (Molina, 2002). Los sistemas CAE soportan las actividades de diseño y manufactura.

Los sistemas CAE están constituidos por diferentes programas individuales, pero que se encuentran en un ambiente de integración que les permite proveer información entre ellos (Borja, 1997).

Mucha dificultades aparecen durante la implementación de la CE. La primera dificultad es la creación de un modelo de referencia, que debe ser flexible y de fácil modificación (Rozenfeld, 2000). Otro problema es la selección e integración de las diversas herramientas computacionales desarrolladas para soportar a la CE.

Sin embargo, una forma de resolver los problemas descritos es mostrada por Molina et al (1995a) quien identifico los siguientes requerimientos para soportar un ambiente de CE: modelado de metodologías, soporte de decisiones asistidas por computadora, arquitectura de información, marcos de trabajo para desarrollar los sistemas CAE.

Molina et al. (2002) propone que para diseñar, desarrollar e integrar sistemas CAE y soportar efectivamente a la CE es necesario contar con un modelo conceptual.

## **1.7 Modelos de información**

Para alcanzar las metas de la CE, algunas compañías se han enfocado en simplemente agrupar personas quienes previamente habían trabajado juntos pero en diferentes

departamentos. Otras compañías han invertido en sistemas de Diseño/Manufactura/Ingeniería (programas analíticos para análisis por elemento finito)/Planeación de la Producción Asistidos por Computadora (CAD/CAM/CAE/CAPP) (Rozenfeld 2000, Howard et al. 2003).

Sin embargo, los sistemas CAD/CAM/CAE tienen limitaciones críticas. Estos sólo contienen a la geometría como la fuente central de información, por lo que no cuentan con toda la información requerida por los diseñadores.(Young et al 1995).

La gran mayoría los sistemas CAD/CAM/CAE trabajan en forma independiente (Ayala, 2001). Por lo que es necesario integrar las diferentes herramientas de cómputo que se usan durante la realización de productos para lograr así un soporte integral que asista eficazmente a equipos de diseño. Esto es posible si todos los programas consultan y almacenan datos empleando el mismo depósito de información o base de datos (Borja, et al. 1997).

El problema identificado por Bey (1989) es el tipo de información (curvas, superficies, sólidos) que se tiene en la base de datos de los sistemas CAD, ya que no ayuda de una manera eficiente a la integración, resultando en una incapacidad para soportar y manejar esquemas de forma automática, lo cual no permite el desarrollo de la planeación automática y la programación de las máquinas, ensambles y otras disciplinas de la manufactura.

Los sistemas CAE requieren que toda la información sobre la geometría, dimensiones, tolerancias, acabado superficial, definición de superficies y vértices y otros parámetros (tipo de material, funcionalidad) que aparecen en los dibujos de ingeniería, se encuentre organizada en una base de datos común (Kimura,1992).

Molina et al. (1995) y otros investigadores consideran que la integración de la información necesaria para soportar las funciones de diseño y manufactura de una empresa es utilizando modelos de información.

Se han identificado dos modelos de información como fundamentales para asistir al diseño (Molina, 1999): Uno es el llamado Modelo del Producto (MP) que representa la información de productos y el otro es el Modelo de Manufactura (MM) que representa las capacidades de manufactura de fábricas específicas.

Es muy común que algunos sistemas de información sean construidos alrededor de un sistema CAD para administrar la información de diseño del modelo. Además algunos sistemas conocidos como Administración de Datos del Producto (PDM) son empleados para compartir información y facilitar la cooperación en el proceso de diseño (Hu, 2003).

## **1.8 Trabajos realizados en Modelos de Información**

La comunicación efectiva con los ingenieros de manufactura, que permita la actualización de la base de conocimiento de los sistemas y por lo tanto la integración

total de las diversas actividades del ciclo de vida del producto, es otro de los grandes problemas que se tienen para evaluar la manufacturabilidad.

La integración de la información permite la comunicación efectiva entre los diversos departamentos, tal es el caso de los proyectos basados en modelos de información, donde se muestra, que es posible establecer una relación entre la información de diseño y la manufactura, como el proyecto MOSES (MOSES, 1996).

El proyecto MOSES (Model Oriented Simultaneous Engineering System) fue realizado por la Universidad de Loughborough y la Universidad de Leeds del Reino Unido. Esta investigación tenía como concepto el diseño utilizando datos (*Data Driven Design*), sin embargo, resultó la propuesta del modelo de referencia para soportar a la ingeniería simultánea asistida por computadora (sistemas CAE) (Molina 2002), con lo que la investigación finaliza en 1995.

A partir del proyecto MOSES son diversos los autores que han utilizado el método de modelado de información que se propuso en MOSES, tales como: H. Al-Ashaab et al., (1992), Ellis (1995), Young et al. (1998), Molina (1999), Borja (1997), Harding (1999), Dorador (2001), Morano (2001), Espinosa (2002).

El trabajo de Molina (1999) consiste en definir un MM para representar la información relacionada con la capacidad de manufactura de las instalaciones de manufactura que soporte a la Ingeniería Concurrente CE. El modelo que propone integra y flexibiliza ambientes computacionales para soportar actividades de diseño y manufactura (Ayala, 2001).

La investigación de Borja está enfocada a la creación de una herramienta computacional para soportar ingeniería inversa (Borja, 2001).

El proyecto MIM (*Manufacturing Information Models*) desarrollado en la Universidad de Loughborough-Reino Unido, tiene sus antecedentes en el proyecto MOSES e inicia en 1997. La investigación está centrada sobre la interfaz entre el diseño y la manufactura dentro del contexto del ciclo de vida del producto. Los puntos que fueron investigados son los relacionados a las mejoras de las estructuras de datos requeridas usadas en el proceso de diseño de productos. Además, de estudiar las necesidades de la manufactura global (Young 2004).

El proyecto MIM siguió dos líneas de investigación: La primera se refiere a actividades de maquinado, tomando en cuenta el diseño para manufactura y las actividades de post-diseño que permiten la planeación de procesos (Canciglieri 1997, Costa 1998, N. Bugtai 1998, Young et al 1998 y 1999, Zhao et al. 1999 y 2000, W. M. Cheung et al. 2000). La segunda línea se refiere al soporte para las actividades relacionadas con el ensamble (Dorador 2001).

Canciglieri propone que se deben tomar en cuenta diferentes puntos de vista, entre ellos: el punto de vista de la geometría, de la funcionalidad, de la moldeabilidad, y del diseño de la piezas de inyección de plástico y del molde. Modelo del producto basado en mecanismos de traslación para soportar múltiples vistas en el diseño para manufactura de productos (Canciglieri 1997).



La investigación de Costa explora un nuevo modelo de información, el Modelo del Rango de Productos en el diseño de herramientas para moldes de inyección (Costa 1998).

Dorador explora y define las estructuras de un Modelo del Producto y un Modelo de Manufactura para soportar información relacionada con el ensamble. Estos modelos de información soportan el proceso de desarrollo del producto, especialmente en las etapas iniciales del ciclo de vida del producto (Dorador 2003).

Actualmente se sigue trabajado en la línea de modelos de información en el Reino Unido resaltando los siguientes trabajos:

La investigación de Espinosa explora cómo la información y conocimiento de la historia del diseño de un producto puede ser utilizada para soportar el proceso de decisión del diseño de ingeniería. El no almacenar las razones por las que se tomaron las decisiones de diseño causa que se pierda información y limita la habilidad para revisar y entender el diseño final (Espinosa, 2002).

Finalmente está la investigación de Liu, que tiene que ver con la coordinación de las actividades a nivel mundial de las instalaciones de una empresa transnacional para la fabricación de un producto (Liu 2004).

En el Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM., se estudia el desarrollo de aplicaciones de modelos de productos y capacidades de manufactura (Borja, 1999), en colaboración con el CONACYT y dos empresas del área metalmecánica, se desarrolla un sistema CAE basado en estos modelos: SADET (Sistema Auxiliar para el Diseño de Ejes de Transmisión) (Mirón 2001, Ayala 2001, Vega 2003). El modelo del producto de SADET contiene la información necesaria para asistir el rediseño y la planeación de la producción de piezas rotacionales maquinadas.

SADET, permite documentar productos y fábricas en modelos de productos y manufactura respectivamente. El sistema auxilia a diseñadores mecánicos revisando productos, considerando criterios de facilidad de fabricación, capacidades de la maquinaria y herramientas con los que cuentan fábricas específicas. Además, el sistema genera procesos de producción basándose en los principios de tecnología de grupos.

## **1.9 Administración de datos del producto**

La gran cantidad de datos generados por los sistemas CAD/CAM/CAE a menudo no se organizaban centralmente y por lo tanto eran inaccesibles a los diferentes sistemas. Al darse cuenta del problema y de la oportunidad de negocio, varias compañías de software empezaron en la década de los 80 a desarrollar sistemas de PDM que inicialmente proporcionaban capacidades de administración de documentos de ingeniería tales como los dibujos 2D. En el final de la década de los ochentas y al inicio de los 90's la administración de los cambios en ingeniería, para controlar y rastrear los cambios hechos a la ingeniería, se añadieron a la funcionalidad de los sistemas junto con configuración y capacidades de administración de clasificación. Lo anterior como

resultado de la introducción de los sistemas 3D. Los sistemas PDM empezaron a soportar la administración de relaciones complejas entre partes, ensambles, dibujos, personas y grupos de personas (Brück, 2002).

Como una herramientas de la CE los sistemas PDM han sido usados para administrar los datos y documentos de diseño de las empresas. Los sistemas PDM no sólo administran información, también procesos del diseño del producto, ya que muchos de estos están basados en modelos de referencia como CIMOSA, PERA, GERAM, GAIN, y ARIS (Quian, 2002).

Para finales de los 90's los sistemas PDM evolucionaron a los sistemas de Administración del Ciclo de Vida del Producto (PLM). Un sistema PLM es una clase de software y servicios, que trabaja como una fuente de información que asegura que la información sea accesible para la persona correcta y en el tiempo correcto, sin importar la etapa de del ciclo de vida del producto en la que se encuentre la persona que solicita, sin importar la computadora que utiliza, sin importar el punto geográfico donde se encuentren las personas. Por lo se puede describir a los sistemas PLM como la Tecnología de la Información (IT) de toda la empresa, es la infraestructura para sostener la administración de la definición del producto a través de ciclo de vida.

Se han realizado una gran cantidad de trabajos relacionados con grupos de trabajo multidisciplinarios que ayudan en el intercambio de información en las etapas iniciales del diseño, lláméense PDM, PLM, etc. Sin embargo, ha sido menos investigada la administración de la información incompleta o preliminar sin la necesidad de utilizar grupos de enlace. De tal manera que las actualizaciones en la información preliminar sean controladas y permitan comunicar los cambios de la información preliminar tan rápidamente como sea posible (Helms, 2002).

## **1.10 El concepto de diseño para X**

Dentro del contexto del diseño del producto, es posible encontrar enfoques, métodos y técnicas que asisten al diseño, que optimicen la estructura del producto y la geometría de sus componentes. Estos enfoques, métodos y técnicas se conocen como Diseño para X (DFX). La búsqueda de satisfacer los nuevos requerimientos de diseño, de productos y procesos, también obligan a encontrar nuevas formas de trabajar, para crear un ambiente que permita un trabajo en equipo. De este modo, encontramos que la incorporación de las diferentes técnicas de diseño se hacen de forma natural y cada una de ellas define un dominio de diseño (Fig.1.2) (Flores, 2001).

Desde finales de los 90's se han publicado cientos de artículos referentes a DFX en manufactura. Muchos de éstos abarcan diferentes disciplinas y publicaciones, esto hace difícil localizar toda la información necesaria de las aplicaciones de DFM (Kuo, 2001)

Con el movimiento de reciclaje el Diseño para Desensamble ha tenido una mayor influencia en la industria automotriz (Boothroyd, 1994), tal es el caso del Mercedes-Benz. El análisis del ciclo de vida, inicia midiendo el impacto en el ecosistema de todos los puntos del ciclo de vida del producto.

A principios de la segunda guerra mundial se hicieron grandes esfuerzos para implementar la metodología de Diseño Para la Manufactura (DFM). El tradicional enfoque era a partir de equipos de grupos interdepartamentales que generaban listas de verificación y que eran utilizadas por los diseñadores. Esto ha cambiado y se han automatizado los procesos (Gupta, 1995).

Una de las primeras herramientas computacionales de DFM fue la desarrollada por Gupta (1995), donde el objetivo era desarrollar una herramienta que pudiera asistir en los estados iniciales del proceso de diseño. La herramienta intentaba ser similar a otras herramientas de diseño (análisis de mecanismos, FEM, etc), excepto que la herramienta analiza y reporta problemas con la manufactura, es decir, la manufacturabilidad del producto.

La aplicación de DFX requiere que ingenieros y diseñadores trabajen en equipos más que en forma individual. Esto implica la integración de todos los departamentos de la empresa y con frecuencia causa fricciones (Kuo, 2001).

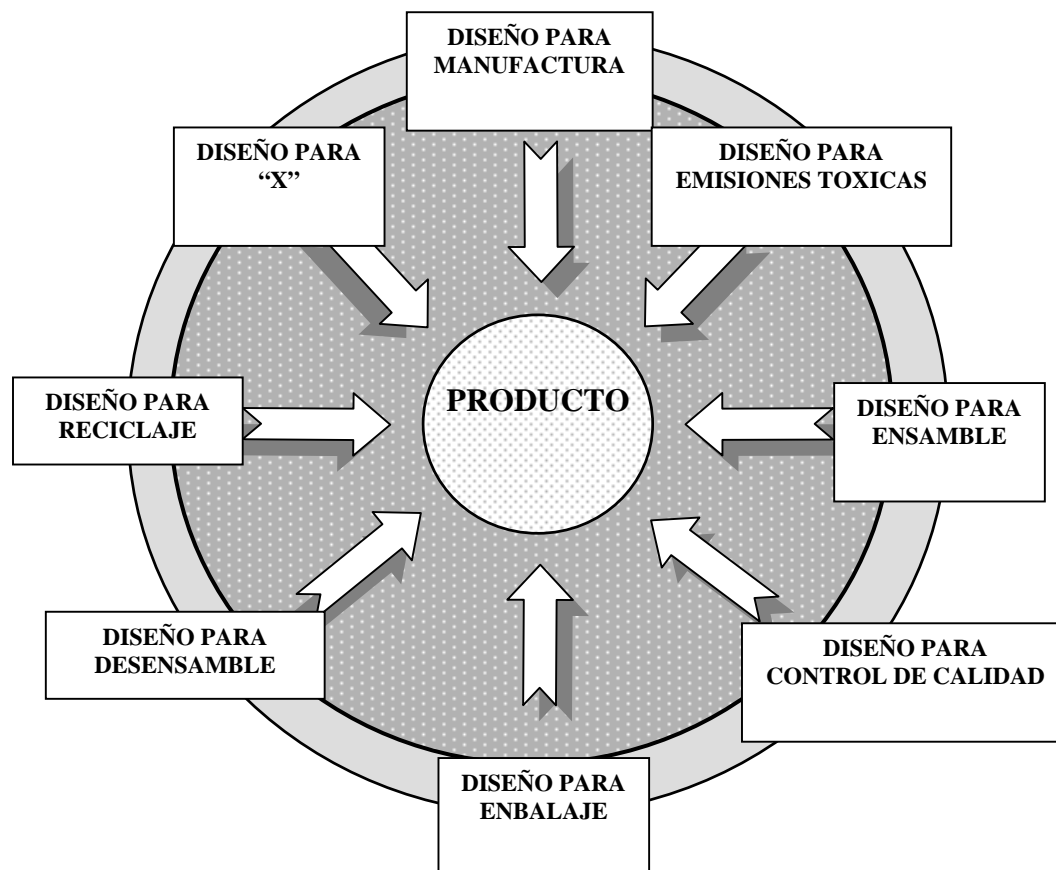


Figura 1. 2 Diferentes técnicas de diseño en el ciclo de vida del productos (Flores, 2001).

## **1.11 Ciclo de vida**

Todos los productos pasan por un ciclo empezando por el nacimiento, pasando por un estado de crecimiento, un periodo de estabilidad y finalmente el estado de declive el cual normalmente termina con la desaparición del producto. Si se ve con mas detalle el ciclo de vida del producto, podemos observar que está constituido por muchos procesos individuales.

Alting en 1991 define el ciclo de vida como la evolución de la ingeniería concurrente y lo divide en las siguientes fases: reconocimiento de las necesidades, diseño y desarrollo, producción, distribución y desecho o reciclaje.

El ciclo de vida del producto inicia con la extracción de los minerales o materia prima, los materiales en bruto son procesados y refinados, a continuación se obtienen productos que los ingenieros de diseño utilizan para manufacturar partes que serán puestas en servicio. Eventualmente las productos son usados hasta que un nuevo producto sale del mercado y el anterior se convierte en obsoleto. En este punto el producto se recicla por partes o de forma completa y se inicia nuevamente el ciclo.

La duración del ciclo de vida es variable entre los productos. Abarca desde unas cuantas semanas o una temporada corta (en el caso de una novedad o de moda en la ropa) hasta algunos decenios (digamos, los automóviles o teléfonos fijos). Pero en general el ciclo de vida se abrevia con el paso de los años. Un producto puede tornarse por obsoleto ante los cambios rápidos de la tecnología. Otra posibilidad es que la competencia introduzca una versión propia de un producto de gran aceptación y éste puede pasar muy pronto a la etapa de madurez.

Las etapas del ciclo de vida varían dependiendo del producto. Algunos productos tardan años en pasar por la etapa de introducción y, en cambio, otros son aceptados al cabo de unas cuantas semanas. Más aún, no todos pasan por la totalidad de las etapas. Algunos fracasan en la de introducción y otros no pueden introducirse hasta que el mercado se encuentre en la fase de desarrollo o madurez. Sin embargo, prácticamente en todos los casos es inevitable la declinación (envejecimiento) y el posible abandono. Ello se debe a: 1) desaparece la necesidad del producto (como cuando el jugo congelado de naranja eliminó generalmente el mercado de los exprimidores de jugos); 2) se desarrolle un producto mejor o más económico para satisfacer la misma necesidad (gracias a los circuitos electrónicos fue posible producir muchos productos de repuesto); o 3) el público simplemente se cansa de un producto (un estilo de ropa, por ejemplo), de modo que éste desaparece del mercado.

## **2 DISEÑO PARA LA MANUFACTURA**

### **2.1 El diseño y la manufactura**

El diseño del producto es guiado por la necesidad de crear nuevos y mejores productos, evitando conflictos entre las restricciones, como alta calidad, bajo costo y corto tiempo de entrega (Bramall, 2003). Los diseñadores deben simultáneamente considerar la naturaleza de la parte, las propiedades del material, y las características particulares de los procesos de manufactura. A partir de esta perspectiva, el diseñador puede realizar mejoras a la definición de la pieza que reduzca el costo e incremente la calidad (Stauffer, 2003).

Sin embargo, los diseñadores tienen conocimientos limitados sobre el proceso de manufactura y las implicaciones de las decisiones tomadas durante el proceso de diseño, especialmente cuando las tolerancias especificadas en las partes causan problemas (Gebresenbet, 2002).

Cualquier ajuste requerido después de la etapa del diseño tendrá como resultado una penalización en tiempo o un costo extra. Las deficiencias en el diseño del producto repercuten en las subsecuentes etapas de la manufactura (Chen, 2001).

Un importante paso para enfrentar este reto es realizar un análisis de manufactura en las etapas iniciales del proceso de diseño. Realizando este análisis se puede conocer los costos de manufactura del producto, e idealmente el diseñador debería involucrarse en cómo el producto puede ser modificado para incrementar la manufacturabilidad (Zhou, 2003).

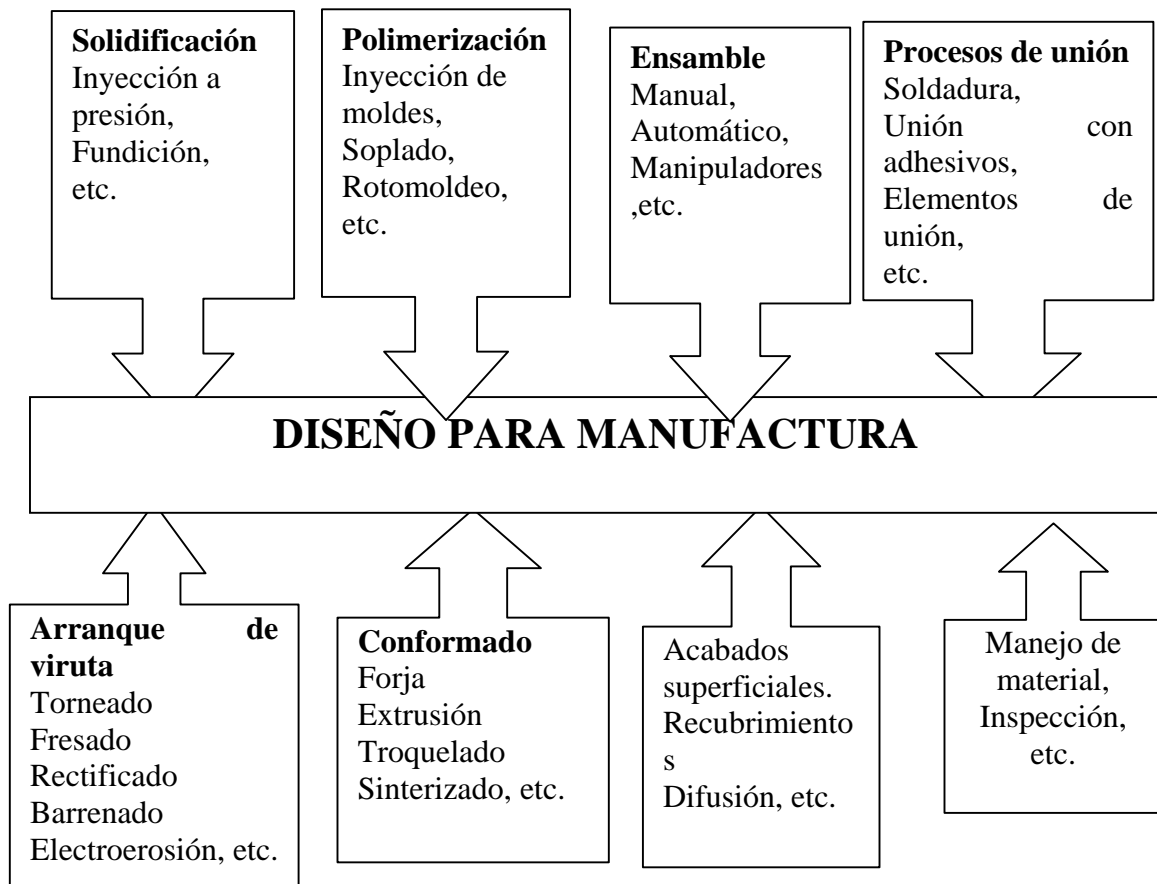
Peter Drucker (Dieter, 2000) llama a la situación actual de la manufactura como la tercera revolución industrial. La primera revolución se dio con el uso de la potencia generada por motores de vapor, la segunda revolución industrial empieza cuando las máquinas eran movidas con motores eléctricos y la tercera se da cuando se gana flexibilidad y se realiza la manufactura de forma económica. La tercera revolución industrial es en la cual el procesamiento de la información se convierte en parte de la máquina o herramienta, la producción pasa de manual a operaciones basadas en conocimiento.

Por lo que para obtener un diseño apropiado que satisfaga el desempeño, los requisitos tanto del cliente como del fabricante, se debe contar con bases de datos distribuidas (Zhang, 2001) que integren la información de diseño y de fabricación, así como, una metodología que permita analizar las diferentes etapas del ciclo del producto.

### **2.2 Aspectos de manufactura**

Existen cientos de procesos de manufactura y miles de materiales, que se pueden relacionar para obtener diversos productos. Los procesos de manufactura desde el punto de vista de diseño para manufactura pueden ser clasificados como se muestra en la figura 2.1.

El proceso de arranque de material representa la mayoría de los procesos de transformación. Normalmente pensamos en manufactura cuando hablamos de plantas armadoras de automóviles, pero los sistemas de producción en masa realizan menos del 25% del trabajo en partes de metal. El 75% de las partes manufacturadas son producidas en lotes de 50 piezas. Cerca del 40% de los empleados de manufactura están asociados a trabajos en el taller (Dieter, 2000).



**Figura 2.1** Procesos de manufactura que pueden ser evaluados con DFM.

El proceso de arranque de material tiene una inherente flexibilidad la cual permite que sea usada para un mayor espectro de aplicaciones y de lotes. La preparación de un plan por arranque de viruta, tiene un mayor número de soluciones que los planes de proceso de conformado. Las operaciones de maquinado representan los procesos más usados en los procesos de manufactura, las parte maquinadas pueden provenir de procesos como forja o recubrimientos, ya que éstas necesitan seguramente un acabado o un maquinado final.

Para entender el punto de vista de la manufactura y saber cuales son las áreas donde el DFM puede ser efectivo es necesario conocer la estructura de los departamentos de manufactura.

La manufactura convencional está dividida en: Proceso de ingeniería, herramientas de ingeniería, estándares, plan de ingeniería y administración y control.

El *Proceso de ingeniería*, es el desarrollo de la secuencia de operaciones paso a paso. El producto es dividido en componentes y subensambles y los pasos requeridos para producir cada componente son ordenados en una secuencia lógica. Una parte importante del proceso de ingeniería es especificar las herramientas y los parámetros de corte. Estos últimos son vitales para determinar los costos de producción y la velocidad de producción.

Las *herramientas de ingeniería* se asocia con el diseño de herramientas, elementos de sujeción par producir un producto. Las guías sujetan a las partes y sirven de guía para la herramienta durante la manufactura. Las herramientas de sujeción sujetan a la pieza que va ha ser unida, ensamblada o maquinada. Los comparadores determinan si las dimensiones de la parte esta dentro de especificaciones.

Los *trabajos estándar* están asociados con los tiempos invertidos con cada operación de manufactura, es decir establecer estándares de manufactura de piezas. Otros estándares que se necesitan en manufactura son las herramientas estándar y los materiales.

Finalmente la *administración* y el *control* están relacionados con las instalaciones disponibles para la producción, como transportación, espacio, almacén, etc.

Es la *planeación de la producción* la encargada de supervisar y asegurarse que los materiales, herramientas y personal estén disponibles en el momento correcto y en la cantidad necesaria para la producción.

## **2.3 Diseño para manufactura**

### Antecedentes

Existen diversas referencias sobre cuándo y cómo comenzó el concepto de Diseño Para Manufactura (DFM). Autores como O'Driscoll (2002), mencionan que a principios de 1788 LeBlanc utilizó el concepto de DFM. Al realizar mosquetes con piezas intercambiables, y no es hasta el siglo 20 que el DFM se convierte en parte importante de la industria.

Para algunos otros como Gupta (1997), a principios de la Segunda Guerra Mundial, se realizaron esfuerzos para implementar la metodología. El enfoque tradicional del diseño, permitía contar con equipos de trabajo interdepartamental que proporcionaban al diseñador listas de revisión.

Para Kuo (2002), varias empresas a principios de los 60's desarrollaron guías que usaban para diseñar productos. El énfasis era sólo en diseño de partes individuales (productividad), así, a los procesos de diseño y manufacturan no se les daba importancia.

Sin embargo, no es hasta los principios de lo 70's cuando Boothroyd y Dewhurst realizan estudios sobre diseño para ensamble, los cuales consideran las restricciones en el proceso de ensamble (Kuo, 2002). Stoll (1986) expande el concepto Diseño Para Ensamble (DFA) a DFM y simultáneamente considera las necesidades del diseño y las

restricciones de los productos que se van a manufacturar. Más recientemente requerimientos relacionados con el medio ambiente motivan el estudio del desensamble y el reciclado y que se considere en las fases iniciales del diseño. En 1991 Leonard se enfoca en diseño para el medio ambiente, en 1988 Henstock en diseño para reciclado, y diseño para el ciclo de vida (Alting, 1991).

En la literatura de procesos de manufactura podemos encontrar autores como Todd et al. (1994) que recomiendan geometrías, acabados superficiales, tolerancias, etc, es decir parámetros que influyen en la manufactura y que de manera general se pueden considerar reglas empíricas para DFM. Sin embargo, no es hasta el trabajo de Boothroyd donde se presenta un método para la evaluación específica de productos.

El concepto DFM es inspirado en la aplicación de DFA en la manufactura. Inicialmente DFM se relaciona con la identificación de los materiales y los procesos de manufactura de los componentes de productos, basado en la combinación de capacidades y limitaciones del producto (Kuo 2001).

### Definición

Originalmente el diseño era responsabilidad de una o dos personas quienes desarrollaban el concepto, el diseño, el prototipo y tenían el conocimiento de cómo manufacturar el diseño. Con los avances de la tecnología y el incremento de la competencia, la estructura de las fábricas cambió. El concepto de CE emergió en los 80's para resolver este problema. La experiencia muestra que el 70% del costo de manufactura se decide en el proceso de diseño, también que los resultados del proceso de diseño puede cambiar el costo de manufactura de un producto en 50% (Howard, 2003).

De aquí la importancia del DFM, y el porque se realizan una gran cantidad de trabajos relacionados con diseñar productos que sean fáciles y económicamente manufacturables.

Dependiendo del enfoque, existen diversas definiciones del Diseño para la Manufactura, algunos ejemplos son:

Para Gupta (1995) es una metodología que involucra considerar simultáneamente las metas del diseño y las restricciones de la manufactura, para identificar y reducir los problemas de manufactura mientras el producto está siendo diseñado.

El DFM se define como el enfoque para diseñar productos, donde: el diseño tienen una rápida transición en producción, el producto es manufacturado al mínimo costo, el producto es manufacturado con el mínimo de esfuerzo en términos de procesamientos y manejo de material, y el producto cumple con el nivel de calidad diseñado (Sanchoy, 2000).

Es un enfoque que requiere que los diseñadores del producto consideren la manufactura de un producto concurrentemente con la geometría y otros aspectos de diseño (Ong, 2000).



Puede ser definida como la indicación del esfuerzo necesario para producir un producto. La manufacturabilidad es medida en términos de tiempo, costo y recursos (Sharma, 2001).

Es un enfoque usado para controlar la interacción de las características y permitir verificar los problemas de manufactura en los estados iniciales del diseño (Dereli, 2002).

La manufacturabilidad se refiere a la propiedad de la pieza que determina la viabilidad y la facilidad de que la parte diseñada pueda ser realizada físicamente con las instalaciones de manufactura disponibles (Chen, 2002).

Para O'Driscoll (2002), DFM es realizar el diseño de productos pensando en la manufactura.

La meta del DFM es diseñar un producto que sea fácil y económicamente manufacturable (Howard, 2003).

Para los objetivos de éste trabajo se considera que la definición de Chen (2002), es la más conveniente.

## **2.4 Implantación de la metodología**

A principios de los 60's varias compañías desarrollaron guías para el diseño de productos, uno de éstos es el manual de productividad de manufactura de GE Corp. (Kuo, 2001.).

La corporación McDonnell Douglas en los 90's necesitaba incrementar la competitividad, por lo que implantó equipos de trabajo multidisciplinarios y herramientas como DFM y DFA (Weber, 1994). Se desarrolló el programa de Desarrollo Integral del Producto (IPD), el que tenía seis fases, las primeras cuatro se refieren a la síntesis y las dos restantes a la producción. Los equipos de IPD tenían diferentes habilidades dependiendo de la tarea de diseño que desarrollaban. El área de mayor énfasis de los equipos IPD era producción, con los equipos de diseño, manufactura y herramientas definían los requerimientos del producto y los cambios en los procesos.

Para reducir las posibilidades de obtener defectos utilizaron dos herramientas DFA y DFM. El método que utilizaron está basado en el proceso de predicción de Motorola y al cual llamaron six sigma DFM, se calculaba el número de defectos que podían ocurrir durante la manufactura del producto (Weber, 1994).

En Europa, el Instituto de Desarrollo del Producto (IPU), desarrolló el trabajo *Un proceso de Siete Pasos para DFM*. El proceso consistía de un número de actividades secuenciales, que se debían realizar para incrementar la manufacturabilidad del producto (Fabricius, 1994).

En la mitad de la década de los 90's se empiezan a automatizar algunos aspectos de la manufacturabilidad utilizando sistemas basados en reglas, pero no es sino hasta 1995

con el trabajo de Gupta, que aparece el enfoque de planeación de procesos basado en características.

Asociado al DFM de forma muy cercana se encuentra el área de Diseño Para Ensamble. Esta cercanía se ve reflejada en términos como DFM/DFA, DFM/A (Dieter, 2002, Molloy, 1998). Sin embargo, en el presente trabajo se consideran como dos dominios diferentes en el ciclo de vida del producto.

## **2.5 Trabajos de evaluación de la manufactura.**

Los métodos para la fabricación de piezas, han establecido un efectivo camino para resolver los problemas de la manufactura, considerando sólo los aspectos de su ejecución. Sin embargo, para muchos productos, la productividad se ha convertido en un criterio importante de diseño (Chen, 2002). Si no puede ser manufacturado o ensamblado eficientemente, el producto no fue diseñado adecuadamente (Schuch, 1989).

Comúnmente entre 25 y 30 centavos de dólar se pueden ahorrar en los costos de la manufactura, sin comprometer la calidad si se establece de forma sistemática el DFM (Fabricius 1994).

La gran mayoría de las investigaciones en DFM, se han enfocado en el desarrollo de sistemas computacionales que pueden soportar la evaluación de manufacturabilidad y los costos de producción en el proceso de diseño. A estos sistemas computacionales Ong (2000) les han llamado “DFM Asistidos por Computadora”, los cuales asisten y guían en el desarrollo de productos y procesos.

Muchos de estos sistemas se desarrollan en computadoras aisladas y para casos particulares, y dado que el modelado de las actividades del ciclo de vida tienen lugar en diferentes escenarios, los diferentes sistemas deberían estar en el mismo ambiente (Zhang, 2001).

En la evaluación de la manufacturabilidad, cinco enfoques son frecuentemente usados para el desarrollo de dichos sistemas (Zhang, 2001):

- basado en casos ,
- basado en axiomas y guías empíricas cualitativas (Stoll, Priest , Boothroyd O’Driscoll 2002)
- extracción y evaluación de características (Chen 1998, Park 1999, Sharma 2001, Dereli 2002, Chen 2002, Gebresenbet 2002, Bramall 2003, Ong 2003,).
- reglas basadas en conocimiento, (Chan 2001, Park 2002, Sprumont 2002, Howard 2003, Vinod 2004), y
- proceso de planeación (Gupta 95, Maropoulos 2000).

Se han realizado metodologías para el DFM (Gupta et al. 1995, Sun et al. 2001, Wuang, et al. 2001, Maropoulos, 2000), se han estudiado y descrito los procesos de manufactura, existe comunicación con sistemas CAD y comunicación parcial con el departamento de manufactura (extracción y evaluación de características). Sin embargo, la evaluación de la manufactura se realiza de manera cualitativa.

Las reglas basadas en conocimiento, basadas en axiomas y guías empíricas permiten evaluar la viabilidad de un diseño y enviar recomendaciones a los diseñadores cuando las reglas son violadas. Este enfoque ayuda al diseñador, sin embargo, no provee índices cualitativos.

En el caso de la extracción y evaluación de características y del proceso de planeación, se han obtenido índices cualitativos tales como: costo y tiempo del ciclo (Bramall 2003), distancia crítica entre características (Dereli 2002), diferencia de Tolerancias (Ji, 1999), índices de manufacturabilidad (MI) (Ong 2003), que permiten comparar alternativas de diseño y optimizar el diseño con base en la selección objetiva (Ong 2003).

El dominio del CAD era hasta finales de los 90's, principalmente orientado a modelado geométrico y representación de productos. Ahora estos sistemas han tratado de tocar otros aspectos, como modelado conceptual, manufactura, ensamble, etc. (Sprumont, 2002).

Existe un incremento exponencial en la aplicación de nuevas herramientas de cómputo para remover las barreras entre el diseño y la manufactura. Así, investigaciones en CAD/CAM han estado ayudando a soportar las etapas finales del diseño. El análisis automatizado de la manufacturabilidad y el proceso de planeación durante las fases conceptuales del diseño se ha convertido en el foco de atención de la comunidad científica (Sharma, 2001).

Se han utilizado varios métodos para alcanzar la implementación del DFM (sección 2.3), creación de equipos multidisciplinarios, uso de guías, manuales, estándares, listas de verificación y varios sistemas que soportan a equipos concurrentes.

La evaluación automatizada de la manufacturabilidad de un diseño es un punto importante en la completa integración del diseño y la manufactura (Vinod, 2004).

Cuando se desea, controlar los impactos de las decisiones tomadas durante el proceso de diseño, se requiere de una estrategia para incorporar conocimientos de manufactura y costos en el proceso de diseño, y para hacer esto es necesario manejar grandes cantidades de información de manera ordenada y sistemática (Chan, 2000). De aquí el por qué la validación y desarrollo de sistemas de DFM asistidos por computadora.

Gupta y Nau (1997), describen un sistema de análisis de manufactura automático basado en planes. El primer paso es generar al menos un plan de proceso. Si el plan de procesos es factible se asume que la manufactura es posible y se realiza un análisis. Este análisis consiste en identificar todas las posibles operaciones de manufactura y usando estas operaciones, diferentes planes de procesos se pueden generar. Todos los planes son comparados para realizar sugerencias y reducir el número de pasos de maquinado.

La evaluación de la manufactura la realiza Ong (2000), considerando que una característica tiene una gran variedad de métodos posibles de producción. Para cada método se tienen un conjunto de herramientas y operaciones que pueden ser empleadas. Así también, existen atributos geométricos y tecnológicos que afectan la selección de las herramientas y los procesos, por lo que los atributos se pueden combinar para generar índices de manufacturabilidad.

Subramanyam y Lu (Sharma, 2002), describen un sistema basado en Inteligencia Artificial (IA), para asegurar la manufacturabilidad de lotes de productos pequeños y medianos. El marco de trabajo consiste de un modelo del producto explícito y un modelo explícito de instalaciones de manufactura. Estos modelos son usados por el sistema de IA para determinar si el diseño satisface todos los aspectos de manufactura.

Gebresenbet et al. (2002), usando la integración de característica-función-recursos desarrollan la medición de la manufacturabilidad. Las funciones usadas para evaluar la relación característica-función han sido derivadas de los principios de diseño de Suh (1990), quien considera a la función desde el diseño conceptual hasta las etapas finales de la manufactura. Este enfoque satisface la implementación de la función como un elemento de información que liga las etapas del diseño con la manufactura.

Dereli et al (2002), presenta un trabajo que evalúa las intersecciones críticas entre las diferentes características a maquinar en piezas prismáticas. Este también integra un sistema llamado OPPS-PRI (*Optimized Planning System for PRismatic Parts*), el cual está enfocado al diseño, planeación y manufactura. El módulo de evolución del DFM se realiza calculando las variables de diseño y comparándolas con los valores permitidos.

Existen otros tipos de sistemas de evaluación de manufactura que se encuentran inmersos en el ambiente de diseño concurrente, tal es el caso de Pham y Ji (Sharma, 2002). El sistema está basado en reconocer características que son modeladas en el sistema de CAD ProEngineer. La geometría CAD recuperada es evaluada desde el punto de vista de viabilidad de fabricación. Los detalles de manufactura son generados hasta que los requerimientos de manufactura de cada característica son satisfechos.

Bramall (2003), describe la evolución de la manufactura comparando alternativos planes de manufactura y evaluando el potencial de cada uno de ellos. A cada característica del producto se le asocia una gran cantidad de métodos, a partir de los cuales es posible determinar la factibilidad y la viabilidad.

Vinod (2004) automatiza la manufacturabilidad de piezas rotacionales para rectificado, estudia la geometría y extrae la información relacionada con el modelo. Considera una base de conocimiento que contiene conocimiento y reglas. Finalmente, realiza recomendaciones y soluciones que el diseñador debe evaluar.

La selección del apropiado proceso de manufactura para la manufactura de una pieza en particular ésta basada en los atributos de la pieza y las capacidades de los diferentes procesos. Estos procesos incluyen selección del material en bruto, diseño modular, uso de componentes estándar, intercambio de piezas, diseño de piezas intercambiables (Kuo, 2001)

## **2.6 Evaluación de la manufactura**

Una de las partes fundamentales de los sistemas de DFM, es la forma de evaluar la manufacturabilidad. Las métricas de manufacturabilidad usualmente son algunas las siguientes (Sharma, 2002):

*Boleana:* ésta es la evaluación básica de la manufacturabilidad, la evaluación es sencilla y sólo reporta como resultado si la parte puede o no ser manufacturada. Se utiliza usualmente en la generación de planes de proceso.

*Costo:* la estimación del costo ha sido una importante área de estudio en manufactura y mercadeo. El costo de manufactura (mano de obra para fabricar el producto, complejidad en términos de número de partes, parámetros, características, nivel de precisión requerida, tolerancias, ajustes, número de elementos de unión) es equivalente a una medida. Dado que las operaciones de manufactura están asociadas con el costo, es sencillo basarse en los recursos requeridos para producir un producto.

*Tiempo:* el tiempo de manufactura también es equivalente a una medición del proceso de manufactura.

*Medición cualitativa:* en este caso se definen adjetivos calificadores como bueno, excelente, etc. Sin embargo dichas mediciones son difíciles de interpretar y comparar.

*Abstractas:* cada atributo de la parte se puede evaluar por un índice asociado.

Muchos de los sistemas de evaluación de la manufactura directamente o indirectamente se basan en características. La evaluación se realiza en dos etapas. En la primera etapa se realiza utilizando guías de DFM y la segunda etapa utiliza la geometría o las características del modelo, después realiza un análisis que se basa en la comparación de planes de manufactura.

## **2.7 Guías cualitativas de diseño para manufactura**

Las métricas booleanas son las más sencillas y existe una gran cantidad de ellas para realizar DFM. Estas guías son obtenidas de manera empírica tal es el caso de Priest y Sánchez (2001) quienes establecen recomendaciones de requerimientos de manufactura.

Existen también guías de diseño con recomendaciones específicas como: para altos volúmenes de piezas se deben considerar procesos que reduzcan el tiempo de maquinado, como extrusión o fundición a presión; evitar paredes delgadas o costillas que provoquen distorsión en la manufactura; evitar procesos que requieran operaciones o herramientas especiales; diseñar los productos considerando herramientas estándar; evitar agujeros y roscas pequeños; considerar la profundidad de las cuerdas de al menos 1.5 veces el diámetro; la profundidad de los barrenos para cuerdas debe ser al menos la longitud de la cuerda más el radio de la rosca; cuando el espesor del material lo permita, los barrenos deben ser pasados; cuando los herramentales de sujeción requieran elevadas tolerancias de perpendicularidad, paralelismo, planicidad, se recomienda realizar los herramentales con acero rolado en caliente; las tolerancias deben estar dentro de las capacidades de manufactura; especificar radios lo más grandes posible; los diámetros pequeños aumentan el costo de manufactura; cuando la profundidad de la caja excede 5 veces el diámetro del radio se debe considerar otro proceso alternativo. es posible realizarlo con aluminio pero no con otros materiales ([www.npd-solutions.com](http://www.npd-solutions.com)).

En la manufactura se consideran diversas restricciones que se utilizan para evaluar la manufacturabilidad y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Restricciones de precedencia: una operación debe ser realizada antes que otra. El primer paso es determinar las restricciones de precedencia en el orden en que las características fueron creadas durante la manufactura, en el caso de maquinados, accesibilidad, tolerancias, y se puede introducir restricciones de procedencia, (Gupta, 1997, Borja,2002)
- Restricciones físicas: se tienen dos categorías: Restricciones fijas: si una restricción fija no es respetada, no se puede manufacturar el producto, por ejemplo tolerancias; Restricciones perdidas: las restricciones pueden ser ignoradas pero esto va en detrimento de la manufacturabilidad.

Las métricas descritas anteriormente dan como resultado un valor, pero no proveen mayor información para que el diseñador realice mejoras en el diseño.

## **2.8 Guías cuantitativas de diseño para manufactura**

Todas las operaciones pueden ser medidas en términos de tiempo y costo, por lo que existe una gran cantidad de trabajos que evalúan a estos parámetros ( Chang, 2000, Bramall 2003, Park et al. 2002, Howard 2003). Así la medición de la manufacturabilidad está en función de: la habilidad de producir el diseño dentro de las especificaciones; la habilidad de producir el diseño a un bajo costo; la habilidad de producir el diseño en un tiempo mínimo.

En las evaluaciones cualitativas normalmente se usan índices y estos pueden ser adjetivos calificadores que se asocian a la forma y los parámetros tecnológicos (Gu et al. 1997, Perzyh 1998, Gerbresenbet 2002). Estos adjetivos se utilizan cuando la evaluación se realiza con lógica difusa, los términos como *muy bueno* y *no aplica* se encuentran asociados a valores predeterminados que se relacionan con acabados superficiales y al de la evaluación (Perzyh 1998).

Dado que la evaluación de la manufactura basada en adjetivos calificativos es difícil de interpretar, comparar alternativas de diseño y optimizar el diseño basado en un objetivo específico (Sharma 2002, Ong 2003); se tiene otra manera de evaluar la manufactura y ésta consiste en calcular índices de manufacturabilidad (abstracta), que se asocian con costos, tiempo de producción, calidad, parámetros técnicos, etc. ( Gu, 1997, Ong 2003).

Las guías cuantitativas se encuentran asociadas con los sistemas de planeación de procesos y típicamente emplean sistemas de inteligencia artificial, basado en conocimiento, algoritmos genéticos y lógica difusa.

A diferencia de las guías cualitativas los autores (Gu et al. 1997, Dereli, 2002, Gerbresenbet 2002, Park 2002, Ong 2003, Jacob 2004) han utilizado guías cuantitativas y han identificado los factores que influyen en la manufacturabilidad de piezas cilíndricas. Estos factores se dividen en: complejidad de la forma, complejidad tecnológica y complejidad de ensamble.

Muchas de las dificultades de la manufactura están ligadas con la forma y los atributos tecnológicos de las características. La secuencia de manufactura, y otros factores como la selección de la herramienta son dependientes de la forma de las características. La

complejidad tecnológica se define como el grado de dificultad para lograr las especificaciones que se piden en las características. La complejidad tecnológica se puede determinar en función del nivel tecnológico de los recursos necesarios para la producción, como son: máquinas herramientas, herramientas, elementos de sujeción y posicionamiento, etc.

## **2.9 Sistemas comerciales de DFM**

En lo que respecta a sistemas comerciales para DFM en la década de los 80's no se tenían referencia. Sin embargo, existían trabajos donde se reportaban sistemas que permitían aplicar en empresas o a un producto específico el DFM (Molloy, 1998).

Muchas de las técnicas de DFA y DFM utilizadas actualmente se iniciaron utilizando hojas de cálculo, un ejemplo de esto es la técnica de Lucas (Corbett et al., 1991), el métodos de evaluación de Hitachi (Miyakawa y Ohashi, 1986), y el método de Boothroyd (Molloy, 1998).

Actualmente existen sistemas comerciales como Boothroyd and Dewhurst, GA Seer DFM, Team Set, y NPD.

El software de Boothroyd and Dewhurst, para DFM es una herramienta de análisis de ingeniería concurrente, que provee guías en la selección de materiales y estimación de costos de procesos y de herramientas. DFM es un componente importante del proceso DFMA que provee conocimiento de manufactura en la reducción de costo durante el análisis de Diseño para Ensamble (Boothroyd 2004).

TeamSET provee un conjunto de herramientas que ayudan de manera importante a través del ciclo de vida del producto, enfocado en la etapa en el que los costos de los productos se elevan - la actividad temprana del diseño (TeamSET. 2004). Asiste en la selección de los costos de procesos y materiales en las etapas iniciales del diseño, la estimación de costos es sencilla y rápida, muestra de manera diferenciada los costos de cada característica de la parte, permite calibrar los costos, todo esto se puede visualizar en cualquier momento del proceso de diseño.

SEER-DFM es una herramienta de estimación y análisis que permite identificar, evaluar y administrar los costos de mano de obra, ensamble, procesos diseño de partes, material y las variables de producción que afectan las operaciones de manufactura. El sistema cuenta con módulos de modelado paramétrico de los posibles procesos a usar, cuenta con una poderosa base de conocimiento, permite modelar los costos, realiza reporte de las capacidades de manufactura, es posible interactuar con el sistemas mediante hojas de cálculo, realiza los personalizados dependiendo de las necesidades de los clientes y finalmente realiza pronósticos de producción.

NPD es un sistema basado en hojas de cálculo y contiene diversas herramientas como: evaluación y mejores prácticas para el desarrollo de productos, evaluación de programas desarrollados para integrar los procesos y los productos, herramientas para el desarrollo de productos (QFD, Reducción del costo, DFA, FMEA y control del plan maestro), listas de verificación para DFM y DFA, y sistema de administración de procesos y proyectos.

## 2.10 Parámetros para la evaluación de la manufactura

Después de estudiar el DFM se ha identificado una serie de situaciones en la evaluación de la manufacturabilidad :

- ❖ Se han realizado métodos que sólo evalúan un proceso de manufactura.
- ❖ La gran mayoría de estos métodos, no se encuentran integrados con todas las actividades del ciclo de vida del producto.
- ❖ La tendencia en el desarrollo de sistemas se enfoca a desarrollar y evaluar planes de producción.
- ❖ La extracción y evaluación de características es el proceso más utilizado para evaluar la manufacturabilidad.

Considerando lo anterior, los parámetros para evaluar la manufacturabilidad deberán cumplir con las siguientes especificaciones: los parámetros deberán ser evaluados en las etapas iniciales del proceso de diseño (información preliminar) y en etapas consecuentes, los parámetros deberán ser independientes de los procesos (arranque de viruta y conformado), se utilizarán en el desarrollar planes de producción, estarán asociados a características geométricas de las piezas y finalmente los parámetros deberán tener una métrica.

El modelado y la representación de partes son considerados como dos de las tareas más difíciles en el CAD/CAM. Las *características* han sido usadas extensamente para la representación de partes durante dos décadas. Las *características* describen cualquier geometría o entidad usada en las actividades de diseño y manufactura, pertenecen a un objeto. En la manufactura las características no pueden ser consideradas aisladas durante la evaluación de las estrategias. Las relaciones entre características pueden causar problemas serios en el proceso de planeación y manufactura. El control y modelado de características son vitales para evitar los errores e integrar los sistemas CAD/CAM (Turkay, 2002).

Una pieza puede ser manufacturada por una gran variedad de procesos. Sin embargo, la forma y las dimensiones serán diferentes acorde a los procesos seleccionados. En forma general existen consideraciones que son aplicables a los procesos. Por ejemplo para el moldeo de plásticos y de metales no ferrosos, el espesor de las costillas y los filetes tienen que estar orientadas al flujo de material. El espesor probablemente será determinado por el proceso mas que por las consideraciones de resistencia (Gebresenbet, 2002).

Para cada proceso de manufactura se tiene un conjunto de operaciones y herramientas asociadas, de tal manera que conocidas las posibles herramientas, es posible determinar los procesos (Ong, 2000). Sin embargo, la selección de las herramientas depende de: las formas geométricas (características); dimensiones y tolerancias; acabado superficial; tipos de materiales; tamaño del material en bruto; número de piezas del lote de producción (Halevi, 1995).

A través de un análisis detallado de las características es posible determinar, que la complejidad de una característica está asociada a dos elementos: complejidad geométrica y requerimientos tecnológicos, la evaluación de estos elementos permite



conocer el nivel de dificultad en la manufactura. La evaluación de la manufacturabilidad describe la facilidad o dificultad de manufacturar las características (Gu, 1997).

A continuación se listan consideraciones de la información necesaria para la selección de procesos de arranque de viruta, herramientas, acabados, operaciones, etc. (Halevi, 1995).

- ❖ Formas geométricas
- ❖ Dimensiones y tolerancias
- ❖ Acabado superficial
- ❖ Tipos de materiales
- ❖ Tamaño del material en bruto
- ❖ Número de piezas del lote de producción.

Secuencia de operaciones

- ❖ Precedencia en las operaciones y se definen en función de restricciones económicas o técnicas.
- ❖ Dimensiones con referencias definidas con anterioridad
- ❖ Tolerancias geométricas
- ❖ Restricciones tecnológicas para ejecutar las operaciones
- ❖ Restricciones económicas, las cuales aumentan los costos de producción , tales como desgaste y ruptura de herramientas, etc.

Información para la planeación de procesos

- ❖ Dimensiones exactas de los cortes a realizar
- ❖ Detalles de maquinado para cada operación
- ❖ Descripción de los instrumentos de inspección necesarias para revisar las diferentes características.

Cómo determinar el tipo de operación

- ❖ Los parámetros de corte son directamente proporcionales al tiempo de maquinado.
- ❖ Las operaciones deben estar basadas en las capacidades de los procesos básicos y estos tienen fronteras.
- ❖ Restricciones tecnológicas, basadas en teorías de corte
- ❖ Restricciones de material
- ❖ Restricciones de maquinaria
- ❖ Restricciones de herramientas
- ❖ Usuarios

## **2.11 Elementos a considerar en la implantación de DFM**

Como guía para la implementación es necesario considerar algunos aspectos importantes. La manera en que será guardada la información, la forma en que el conocimiento se puede organizar, mantener y acceder, para que el personal de diseño y manufactura lo pueda utilizar, y para que potencialmente se implemente en algún otro sistema. Finalmente se debe tener cuidado en no enfocarse al DFM para que el ingeniero de manufactura obtenga mucho más poder que el diseñador (Molloy, 1998).

El sistema a desarrollar debe soportar un ambiente concurrente, para diseñar el concepto es necesario usar técnicas que aseguren la calidad y la validez del concepto, tal como IDEF0 (Molina 2002, Howard 2003).

## 3 OBJETIVOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION

### 3.1 Introducción

Durante las primeras etapas del diseño de productos se utilizan métodos y herramientas (QFD, TQM, Diseño robusto y CFD) que ayudan, a la definición de especificaciones desde el punto de vista de los requerimientos del cliente (Ostrosi, et al. 2003). Para reducir o eliminar los cambios y rediseños, métodos y herramientas de análisis (DXF) son usados para evaluar los procesos de ensamble y manufactura en las fases iniciales del diseño del producto (Hu, 2003).

El desarrollo de los sistemas CAD/CAM ha ayudado a soportar los fases de diseño en la parte final del proceso de desarrollo de productos. Sobre todo aquellas relativas al análisis, simulación y documentación. Sin embargo, las herramientas CAD rara vez utilizan un modelo del producto que pueda soportar el diseño de detalle, por lo que el resultado es una ruptura en flujo de información entre las etapas iniciales y las finales (Sharma, 2003).

La integración de la información es esencial para que la concurrencia sea explorada lo más pronto posible, aun en las actividades de diseño que se traslapan entre sí. Esto asegura que los puntos intermedios del diseño sean considerados durante la concurrencia del diseño del producto. Generalmente se tienen dos situaciones básicas en el proceso de diseño concurrente: alguna información es liberada a la mitad del proceso y no necesariamente al final de él; alguna información es requerida en la parte media del proceso y no al final de la actividad de diseño (Hu, et al. 2003).

Al liberar información incompleta antes de que se concluya la fase de diseño la información es: tentativa, no probada y posiblemente inexacta. A éste tipo de información se le llama *información preliminar* (Helms, 2002).

Iniciar con la información preliminar incrementa la complejidad de controlar el proceso de desarrollo de productos. Primero la información debe ser almacenada de manera segura, confiable y se debe transmitir a todas las áreas que la soliciten. Segundo porque existe la posibilidad de que la información cambie al pasar a la siguiente fase, ya que la información era preliminar y se puede contar con una o varias versión de las propuestas de diseño.

Varios autores han estudiado la integración de la información (Lutters et al. 1997, Young 1998, Hassan et al. 1998, Molina 1999, Bagshaw 1999, Toh 1999, Smart 1999, Harding et al. 1999, Harding et al. 1999a, Borja 2000, Prasad 2000, Tang 2002, Zhang 2001, Liu 2004). Sin embargo, la integración de la información preliminar soportada por modelos de información desde el punto de vista de evaluación del DFM no ha sido estudiada.

En ésta investigación se explorará el uso de la información preliminar para evaluar la manufacturabilidad del producto. Donde la información se refiere a la que describe al producto únicamente.

### **3.2 Dominio de la investigación**

El propósito de automatizar la evaluación de la manufacturabilidad es retroalimentar al diseñador para hacer procesos factibles económicamente y además verificar si es posible la realización de la operación (Jacob et al 2004).

La evaluación de la manufacturabilidad puede resultar de una gran ayuda para los diseñadores jóvenes para toma decisiones y para los ingenieros expertos para interpretar las perspectivas del diseño y la manufactura (Ong 2003).

En la sección 2.8 se han mostrado los diferentes elementos que influyen en la evaluación de la manufacturabilidad, las métricas utilizadas en la evaluación de la manufactura se encuentran asociadas con las características (sección 2.6). Sin embargo, desde el punto de vista de planeación del procesos, no siempre las características se encuentran bien relacionadas con los costos de manufactura y las funciones del diseño (Gu 1997).

Las actividades del diseño se encuentran definidas por dominios. El dominio representa un aspecto cerrado y limitado del problema que debe ser examinado durante el proceso de diseño. En general los dominios del diseño consisten de tres dimensiones: funcionalidad, forma y proceso de producción (Sprumont 2002).

Considerando las dimensiones mencionadas anteriormente, el presente trabajo se enfocará a evaluar el diseño de productos desde dos dimensiones, que influyen a la manufactura: la forma y los procesos de producción (sección 2.8).

### **3.3 Modelo Conceptual**

Para estudiar un fenómeno se puede usar un modelo conceptual que muestre los aspectos que son importantes y dejar fuera los detalles que no se consideran relevantes. En esta investigación el modelo conceptual es el desarrollo de productos en un ambiente concurrente, y enfocado a la evaluación de diseños, desde el punto de vista de DFM.

Molina et al. (2002), menciona que los términos arquitectura y marco conceptual se han utilizado de manera ambigua en el entorno de manufactura, para denotar modelos de referencia que asisten en el desarrollo de sistemas de información. Sin embargo, para el desarrollo de sistemas CAE, se utilizan marcos de trabajo, donde cada tarea específica, método y herramienta es usada para soportar una situación particular.

Para evaluar los diseños en un ambiente concurrente, se desarrollará en esta investigación un modelo que determina la información preliminar necesaria que debe contener la definición del producto y los parámetros necesarios para evaluar la manufacturabilidad.

### 3.4 Objetivo y Alcances

El trabajo propuesto tiene como objetivo: Desarrollar un proceso de evaluación de diseño para manufacturabilidad para productos maquinados (arranque de viruta) soportado por modelos de información, en el contexto de la ingeniería concurrente.

Para alcanzar el objetivo propuesto se han planteado las siguientes preguntas para la investigación.

¿El modelo de manufactura y del producto soportan la información preliminar de la manufactura?

La información preliminar incrementa la complejidad del proceso de información, por lo que es necesario que los modelos de información permitan almacenar y usar la información en cualquier momento y en cualquier fase del diseño.

¿De qué manera se puede evaluar la manufactura?

Existen diversas maneras para evaluar la manufacturabilidad de manera cualitativa, sin embargo, pocas investigaciones presentan mediciones de la manufacturabilidad.

¿Cuáles son los parámetros necesarios para evaluar la manufactura?

Para medir de manera cuantitativa es necesario definir los parámetros que influyen en la manufactura, además de establecer un método multicriterios, que permita establecer diferentes criterios de evaluación dependiendo de los requerimientos del diseñador.

¿Los parámetros necesarios para evaluar la manufactura se encuentran en los modelos de información usados?

Después de plantear los parámetros a evaluar se verifica si los modelos de información propuestos cumplen con las expectativas, si estos no cumplen entonces es posible actualizar y completar o redefinirlos.

Los alcances de este trabajo son:

- ✓ Se desarrollará un modelo conceptual para evaluar la manufacturabilidad de diseños preliminares, desde el punto de vista de ingeniería concurrente. Se desarrollará utilizando la herramienta de modelado gráfico IDEF0.
- ✓ Se usará el concepto de información preliminar y se definirá en el contexto del presente trabajo.
- ✓ Se propondrá un método para evaluar de manera cuantitativa la manufacturabilidad de productos maquinados manera cuantitativa.
- ✓ Se integrará el concepto de ciclo de vida del documento.
- ✓ Se diseñará e implementará una herramienta computacional experimental que asista en la evaluación de la manufacturabilidad en el proceso de diseño concurrente basándose en los modelos de información. Se utilizará el paradigma orientado a objeto, el lenguaje de programación C ++ y la base de datos ObjetStore.

### **3.5 Aportaciones**

La aportación principal de esta tesis, es el proponer un método para evaluar la manufacturabilidad de productos fabricados por arranque de viruta.

Para lograr lo anterior se realizaron las siguientes aportaciones:

- proponer los parámetros para evaluar la manufacturabilidad, en la literatura podemos encontrar una gran variedad de manera de medir la manufacturabilidad (Borja 1999, Gupta 1995, Ong 2003). Sin embargo las mediciones se realizan utilizando parámetros, que los diseñadores no utilizan de manera cotidiana, por lo que no ven de manera clara la medición de la manufacturabilidad.
- En el presente trabajo se proponen parámetros que miden de manera indirecta elementos como costo y tiempo de manufactura, utilizando atributos que para los diseñadores son familiares.
- Extender el MP propuesto por (Morano, 2001), al incluir la clase documento. Con la clase documento es posible seguir la historia de los productos, a partir de la asignación a un equipo de diseño hasta la finalización de del proyecto.
- Finalmente se muestra que los modelos de información son viables para soportar el diseño para la manufactura.

## 4 MARCO CONCEPTUAL

### 4.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es definir la información que es considerada como preliminar. Para lograr esto se discutirá y se introducirá el concepto de documento preliminar y se mostrará cómo se integra el concepto de documento a los modelos de información. Finalmente se proponen modelos de información para soportar la información preliminar.

### 4.2 Definición del marco conceptual

Desarrollo del producto

Para algunos autores el desarrollo de productos consiste de una serie de fases tales como Crawford (2004), Ribbens (20009, Magrab (1997): planeación estratégica, investigación de mercado, generación de ideas, evaluación, planeación el producto, diseño de producto e ingeniería, desarrollo de prototipos, manufactura, promoción y distribución, soporte después de ventas mantenimiento, servicio y reparación.

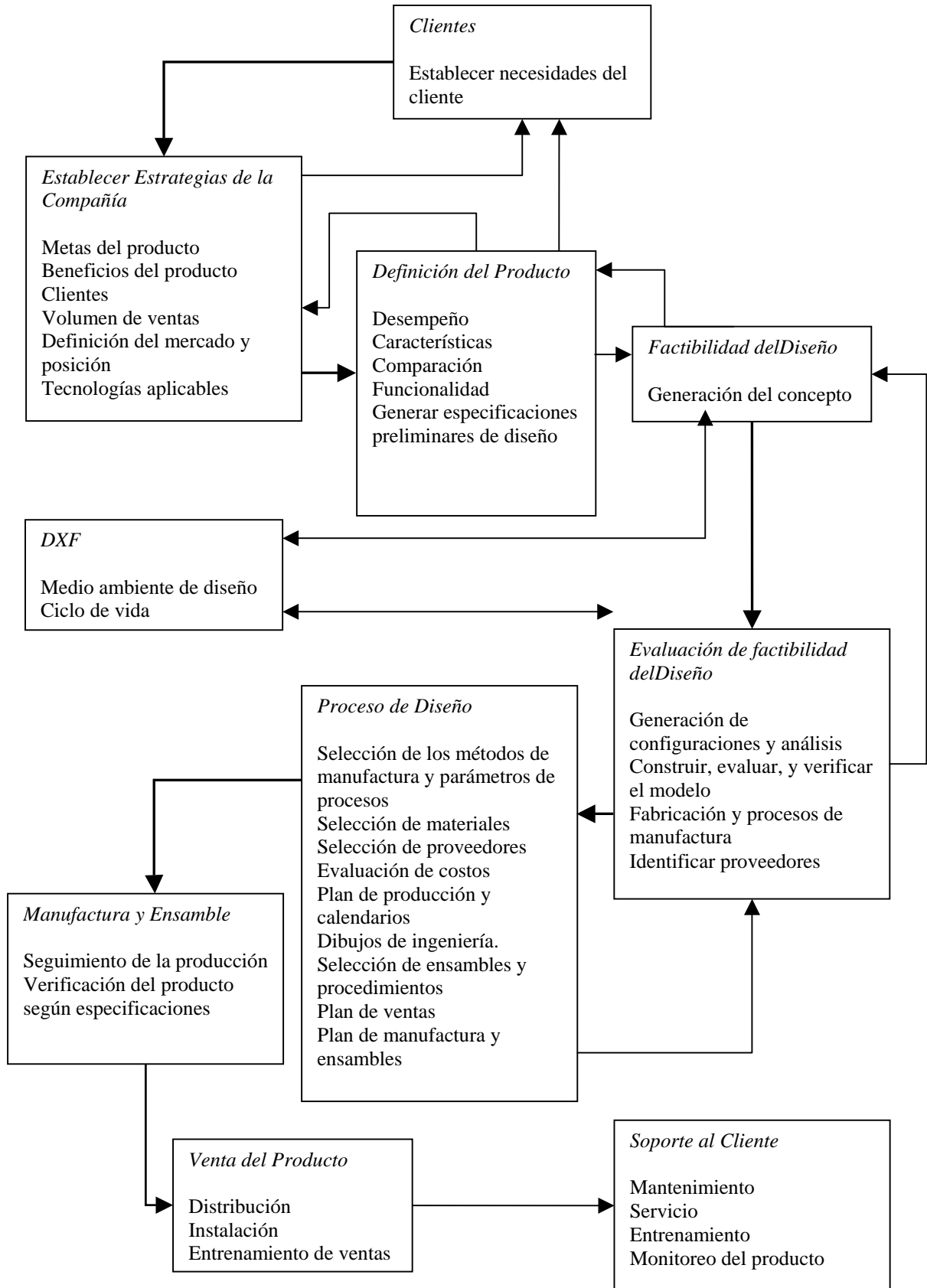
Por otro lado, existen autores como Wallace y Graf quienes definen el proceso con más detalle. Según Wallace: el desarrollo del producto es el resultado del proceso de diseño que convierten generalmente, necesidades específicas del mercado o ideas en información detallada para manufacturar productos satisfactoriamente, a través de la aplicación de ciencia, principios técnicos y creativos, considerando los requerimientos del ciclo de vida del producto (Remko, 2000).

Para Graf, es el resultado de los procesos del diseño e ingeniería, que convierten especificaciones generales del producto en la definición detallada del producto para manufacturar productos satisfactoriamente, a través de la aplicación de ciencia, principios técnicos y creativos, considerando los requerimientos del ciclo de vida del producto (Remko, 2000).

Si comparamos las definiciones anteriores con el proceso de desarrollo que propone Magrab (1997), se observa que la primera definición no considera *manufactura* y *ensamble*. Por otro lado, la segunda definición no considera la generación de la idea principal (proveniente del *Cliente*).

Si bien, no es parte de este trabajo de tesis establecer una definición del Proceso de Desarrollo del Producto, se propone una basada en el proceso propuesto por Magrab.

El desarrollo del producto: es la secuencia de fases que convierten información del mercado y/o estrategias de la empresa en información detallada del producto para manufacturar, ensamblar y comercializar productos satisfactoriamente, a través de la aplicación de ciencia, principios técnicos y creativos, considerando los requerimientos del ciclo de vida del producto (Fig. 4.1).



**Figura 4.1. Ciclo de desarrollo del producto.**



## **Tipos de información**

Según Breuls (Remko, 2000) todas las empresas sin importar el tipo de negocio deben almacenar información relacionada con éste. Así, las empresas guardan información de la creación y definición de nuevos productos, también requieren guardar información de los recursos para realizar el producto. Para Breuls un objeto en una compañía representa un *elemento*, del cual se quiere guardar la información asociada a él. Por lo tanto, es posible distinguir cuatro objetos principales de información: *Actividades, Recursos, Productos y Documentos*.

Los tipos de información que se pueden guardar en cada objeto son: *información básica, relaciones de información e información del ciclo de vida del producto*.

La *información básica* es la que define a cada objeto, por ejemplo, se refiere a la descripción detallada de las actividades a realizar (*actividades*), descripción y localización de los recursos (*recursos*), archivos CAD del producto (*producto*) y la información que se genera para producir un producto (*documentos*).

La *relación de información* es cuando un objeto tiene una o varias relaciones con otros objetos. Por ejemplo, un objeto producto está conectado con otro ya que “*es parte de*” un ensamble, por lo tanto es necesario contar con una lista de materiales, la cual se considera como la información que liga productos y ensambles.

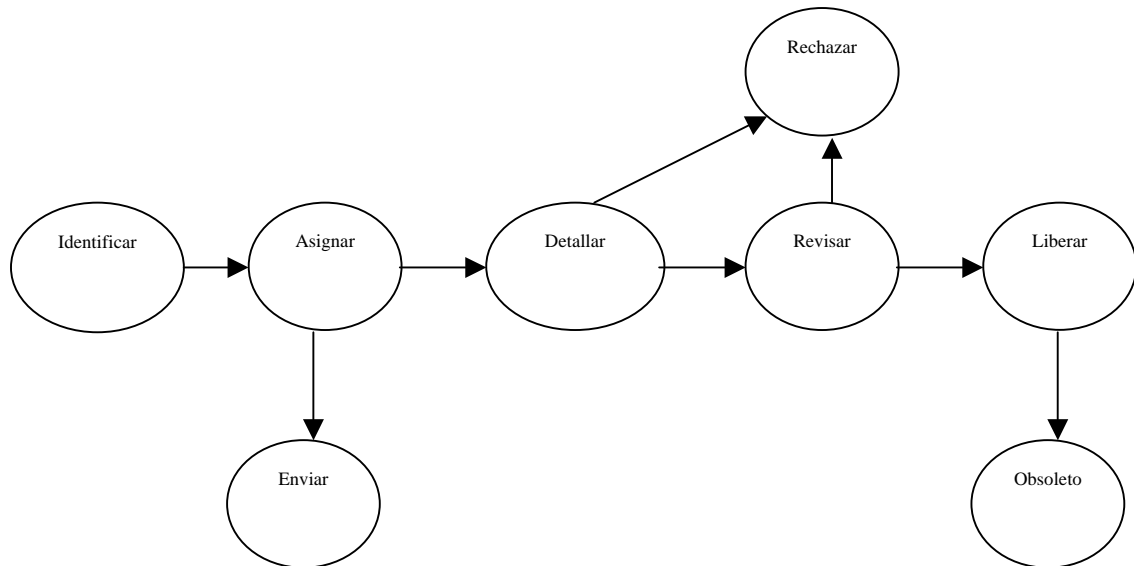
La *información del ciclo de vida del producto* contiene información de otros objetos. Muestra la situación actual o pasa, los cambios, las versiones, los responsables, las fechas relevantes, etc. En otras palabras es la historia de desarrollo del producto.

## **Ciclo de vida de documentos**

El proceso de desarrollo del producto genera información de definición que describe el producto en los diferentes estados de su evolución. Como ya se mencionó existen cuatro objetos principales: *Actividades, Recursos, Productos y Documentos*. La información que se intercambia en todos los niveles de la empresa, se distribuye utilizando el objeto *Documentos*.

El objeto *Documentos* es usado para referirse a la información que puede ser utilizada para definir un producto (forma, tolerancias y función) o un proceso (Remko 2000). Por otro lado, la versión de un documento es la imagen del contenido del objeto documento, en algún momento del tiempo. Las versiones del documento muestran la historia de un objeto documento en el tiempo.

Para Remko (2000) el ciclo de vida del documento es un estado de transición. En la figura 4.2 se muestran todos los estados de transición de un sólo documento. El ciclo de vida inicia con el estado de *identificación* y la versión del documento puede ser promovido a diferentes estatus como lo indica el sentidos de las flechas (Fig. 4.2). El documento tiene dos posibles finales *Rechazar y Liberar*.



**Figura 4. 2 Ciclo de vida del objeto documento**

Los estados de transición del ciclo de vida del producto son:

**Identificar:** El documento es identificado y se le genera un número al documento.

**Asignar:** el documento es asignado a un ingeniero que creará su contenido.

**Enviar:** la versión del documento es enviada a otros ingenieros para generar una retroalimentación. Esta actividad de diseño no es verificar la actividad, es consultar.

**Detallar:** la versión del documento se detalla. Si el autor del documento considera que el trabajo está suficientemente detallado se envía a revisión.

**Revisar:** la versión del documento es revisada y sino contienen errores éste puede ser considerado para la liberación.

**Liberar:** la versión del documento es liberada, una persona autorizada analiza el documento y los comentarios del revisor, y si está de acuerdo con el revisor libera el documento.

**Rechazar:** la versión del documento es rechazado, si durante la revisión del documento éste fue rechazado. Al documento se le incluyen los comentarios y se envía de regreso al autor quien incorpora los comentarios a la nueva versión.

**Obsoleto:** la versión del documento se vuelve obsoleto, de ahí que no se permita utilizar esa versión de documento nuevamente.

Un documento se crea cuando se genera un número de documento, y se especifica la información del producto o proceso. Cuando cambia la información de un documento, es posible que se presenten dos situaciones; que se genere una versión o que se genere un nuevo documento.

En el proceso de diseño, la información generada en el proceso se plasma en un documento, el cual, se obtiene a través de un proceso de iteraciones en donde el estatus del documento va cambiando hasta llegar al estatus de *liberado*.

Lo anterior es lo deseable, sin embargo, en la práctica diaria es común encontrar documentos que muestran información no actualizada, ya sea porque se encuentra en un proceso de iteración o porque es vieja. El no contar con documentos actualizados propicia errores de diseño o de retrabajo de manufactura. Si la información no se

actualiza, es posible fabricar piezas que no ensamblen o que no se puedan fabricar con las máquinas y herramientas con las que se cuenta.

Por lo que en esta investigación se propone introducir el ciclo de vida del documento en el desarrollo concurrente de productos.

Como ya se mencionó, Remko utiliza la información de *forma, tolerancias y función* para definir un producto. La definición es demasiado genérica en lo que respecta a forma, ya que *forma* es definida como la característica visible que constituyen a un artículo. Esto no es conveniente ya que las piezas están constituidas de geometría y topología. En ocasiones es posible que la geometría cambie pero continúe sin cambio la topología, por lo tanto no es necesario generar un nuevo documento, ya que con una nueva versión bastaría.

Para el presente trabajo se definirán características como la información que se refiere a aspectos de forma o los atributos de una parte tales como geometría y topología. Donde geometría se refiere a atributos como dimensiones, localización y orientación, y topología es la estructura combinatorio, en otras palabras es la conectividad y asociatividad de los objetos que forman a la pieza.

El autor propone que, la información contenida en el objeto *Documentos* será utilizada para definir un producto desde el punto de vista de: dimensiones, tolerancias, topología, y función.

Se propone que el objeto documento aplicado en el contexto de ingeniería concurrente, permitirá trabajar con diversos documentos y cada uno de ellos en diferentes estados del ciclo de vida del producto, y además en las diferentes etapas del ciclo del desarrollo del producto.

### **Documento preliminar**

Durante el desarrollo de productos es posible encontrar factores externos que modifican el resultado final del proceso. Estos factores externos se refieren a situación económica de la empresa, restricciones, políticas de la empresa, flujo de información (Remko, 2000). Los factores externos generan iteraciones en el proceso de desarrollo del producto, además, de las iteraciones propias del diseño del producto.

Durante las iteraciones, dentro del proceso de diseño los documentos pueden ser preliminares, lo que significa que la información contenida en el documento puede cambiar y no se asegura que la información tal como se representa en ese momento sea la salida final de las actividades, es decir, el documento liberado. Para evitar este conflicto se propone generar documentos preliminares, los cuales recorrerán el ciclo de vida de los documentos manejando información preliminar.

El Documento preliminar puede iniciar, cuando en el estatus *asignar* el ingeniero asignado al trabajo considere que la información no es del todo completa.



- Descomposición A23: Diseño paramétrico
  - A231: Identificación de variables de diseño
  - A232: Establecer tolerancias y dimensiones finales
  - A233: Selección de materiales
  - A234: Evaluar componentes
- A3: Diseño de detalle**
  - Descomposición A3: Diseño de detalle
    - A31: Realizar dibujos de detalle
    - A32: Lista de materiales
    - A33: Especificar detalles del producto
    - A34: Evaluación de detalle
      - Descomposición A34: Evaluación de detalle
        - A341: Definición de dominio
        - A342: Diseño Para X
        - A343: Diseño Para Manufactura
        - A344: Diseño para Ensamble
      - A35: Determinar costos
      - A36: Generar información
- A4: Planeación de procesos y producción**
  - Descomposición A4: Planeación de procesos y producción
    - A41: Planeación de la producción
    - A42: Manejo de materiales
    - A43: Control de la producción
- A5: Distribución y ventas**
- A6: Soporte al cliente**

*A1-Diseño conceptual*, es donde se inicia el diseño, requiere de creatividad y coordinación de las múltiples actividades y evaluación de los conceptos. Es en esta fase donde se crea un nuevo documento y se inicia el ciclo de vida del *documento*, se asigna a un responsable para darle seguimiento al proyecto y por lo tanto al *documento*. La información como geometría, topología y dimensiones básicas son almacenadas en el modelo del producto. La evaluación del concepto desde el punto de vista de manufactura se puede realizar en cualquier momento durante esta fase utilizando la información almacenada, tal como se muestra en la actividad A151 *Evaluación del concepto*.

Al realizar la evaluación se puede obtener como resultado que es necesario realizar cambios a la pieza y los cambios pueden generar una nueva versión o un nuevo documento. El criterio que se propone para realizar la acción adecuada es: basado en la definición de documento preliminar, se dice que una nueva versión se generará cuando no cambie la topología del producto. En el caso de que cambie la topología es necesario generar un nuevo documento.

*A2- Estructura del diseño*, se realiza el arreglo físico de los elementos para cumplir con la función deseada, selección preliminar de materiales y procesos de manufactura, determinación de costos, además de la evaluación de las propuestas. En esta fase también se puede evaluar el diseño en cualquier momento, sin embargo, para la actividad que se está describiendo la evaluación se desarrolla dentro de la actividad A23-*Diseño paramétrico* en A234-*Evaluación de componentes*.

*A3- Diseño de detalle*, se realizan las listas de material, se genera la información de manufactura necesaria para realizar la planeación y producción de las piezas. La evaluación del producto desde el punto de vista de manufactura se puede realizar en la actividad A34-*Evaluación de detalle* utilizando la información almacenada.

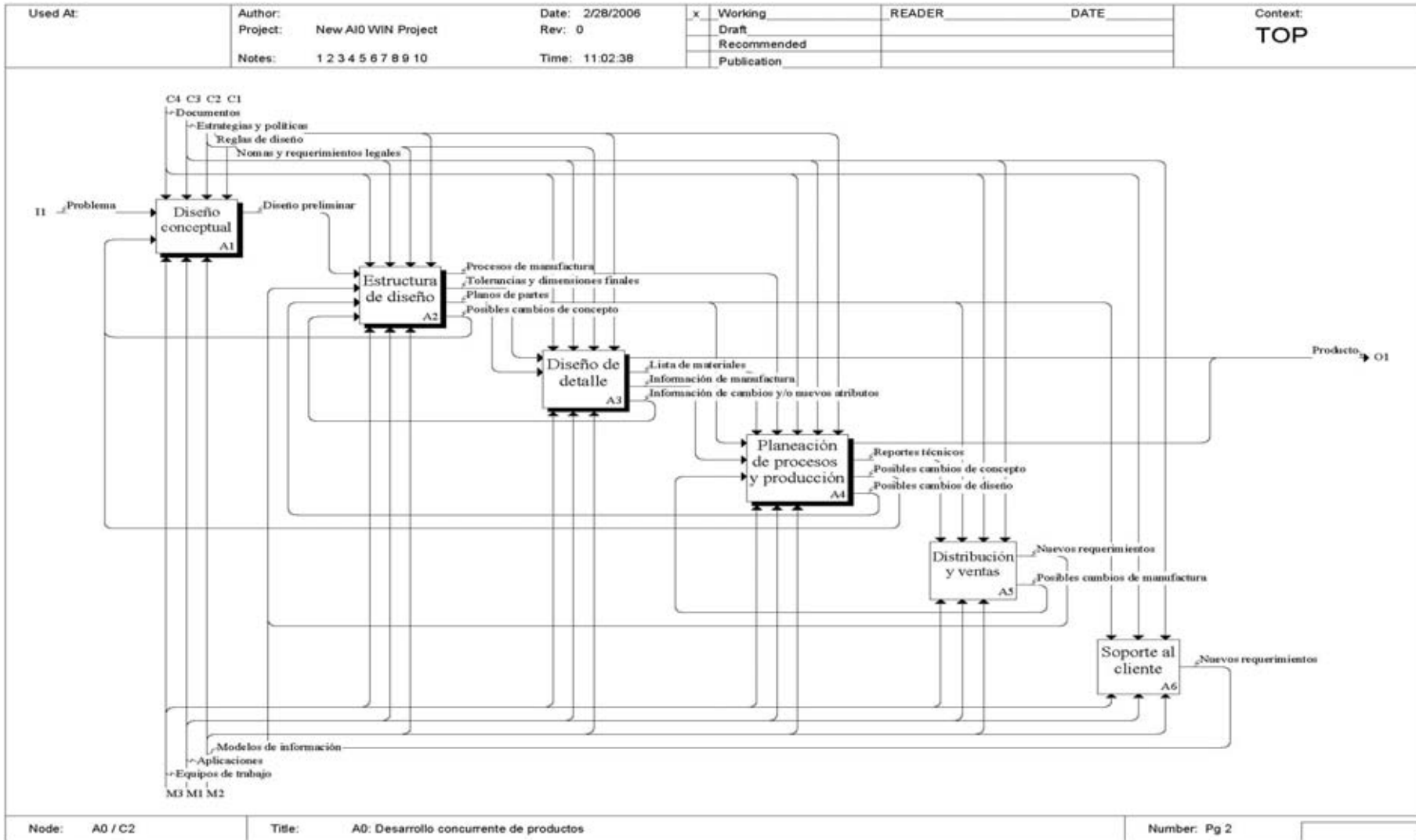


Figura. 4.5 Modelo IDEF0 del desarrollo concurrente del producto

A4- *Planeación de procesos y producción*, se realiza el plan maestro de producción, se generan ordenes de compra y la producción, el control de producción y es también factible realizar evaluación de manufacturabilidad y proponer cambios de concepto o diseño.

A5- *Distribución y ventas*, se realiza la logística de distribución del producto, considerando instalaciones y fuerza de venta.

A6- *Soporte al cliente*, consiste en mantener contacto con el cliente, ofreciendo programas de mantenimiento, servicio, entrenamiento, etc.

Como resultado del análisis de las limitaciones o restricciones de los principales nodos del modelo IDEF0 del *Desarrollo concurrente de productos*, se organiza la información requerida para dicho proceso en cinco categorías de información:

1. Especificaciones: Esta información restringe las posibles soluciones y provee un criterio para diferenciar entre buenas y malas alternativas durante el proceso de diseño.
2. Producto: Representa la información que describe (geometría, topología, dimensiones, etc) y organiza al producto y a los elementos que lo constituyen.
3. Documentos: Es la información que se obtiene durante en el proceso de diseño.
4. Información de manufactura: Se refiere a la información que describe a las instalaciones existente, y que permiten la manufactura de los productos.
5. Módulos funcionales: Es la información que describe las principales funciones de los productos .

### **Modelos de información**

Después de identificar que en las empresas existen cuatro objetos principales de información (*Actividades, Recursos, Productos y Documentos*), y las categorías de información que se requieren para el *Desarrollo concurrente de productos*; se realizará la identificación de los modelos de información que cumplan con estos cuatro objetivos y con las cinco categorías de información arriba mencionadas.

Para realizar de manera concreta la identificación de los modelos de información correspondiente a los objetos principales de información se describen a continuación:

*Actividades*: Descripción detallada de las actividades a realizar.

*Recursos*: Descripción del personal y herramientas requeridos para realizar las actividades.

*Producto*: Descripción de la geometría, topología, dimensiones, tolerancias y función de productos.

*Documentos*: Descripción de la evolución del producto.

Además de lo anterior debe contener *relaciones* entre los diferentes elementos que conforman al producto (ensamble), y finalmente *información del ciclo de vida del producto*.

En el trabajo de Morano (2003), se proponen dos modelos que pueden cumplir con los requerimientos antes mencionados y son el modelo de Borja (1997) y el modelo de Canciglieri (1999). Se menciona que los dos modelos cumplen pero se decide por el de Borja. La decisión se basa en considerar que el modelo propuesto por Borja tiene una estructura genérica, ya que permitirá ser utilizada con cualquier producto. Morano (2003) modifica el modelo propuesto por Borja y lo utiliza para el diseño de moldes de inyección.

El modelo de información del producto definido por Borja (1997) organiza la información requerida para dicho modelo en seis categorías de información. Estas categorías son:

1. Estructura del producto. Modela la estructura física de un producto, representa la organización de sus elementos y cómo están asociados entre ellos.
2. Especificaciones. Describe el conjunto de características que se desean de un producto.
3. Conceptos. Incluye la información que describe la funcionalidad de los productos y su estructura funcional.
4. Características de Diseño. Modela la forma, dimensiones, tolerancias, acabado superficial, materiales, entre otras propiedades.
5. Información de Manufactura. Modela la definición de productos desde el punto de vista de sus aspectos de manufactura.
6. Propiedades. Representa las características cuantificables después de la manufactura del producto.

La estructura del MP se basa en el paradigma orientado a objetos y provee el contexto para las estructuras de información las cuales representan las categorías de información enunciadas anteriormente. Como se ilustra en el diagrama de clases (figura 4.4), el elemento núcleo del MP es la clase *entidad\_de\_diseño*. Una entidad de diseño es un objeto físico o elemento el cuál corresponde a la solución desarrollada a través de actividades de diseño con el objetivo de satisfacer un conjunto de requerimientos. También se muestra la relación de la clase *entidad de diseño* y la relación entre la clase *definición*, en la cual se definen las características del diseño.

La estructura de un producto está formada por entidades descompuestas en sus partes constitutivas, hasta llegar a un punto indivisible o al llegar al nivel deseado. La estructura es comúnmente representada usando diagramas de árbol jerárquicos, los cuales pueden modelar partes o productos completos: un producto puede ser subdividido en un gran número de partes y éstas a su vez pueden ser descompuestas en componentes (Mirón, 1999 ).

Un *componente* está definido como un elemento indivisible físicamente, y está formado por *características* las cuales son formas básicas puestas juntas por razones funcionales o de manufactura. Aún cuando las *características* son partes de la estructura de un *componente*, no pueden estar solas físicamente, siempre deben



asociarse con otras para constituir componentes o características más complejas (Mirón, 1999).

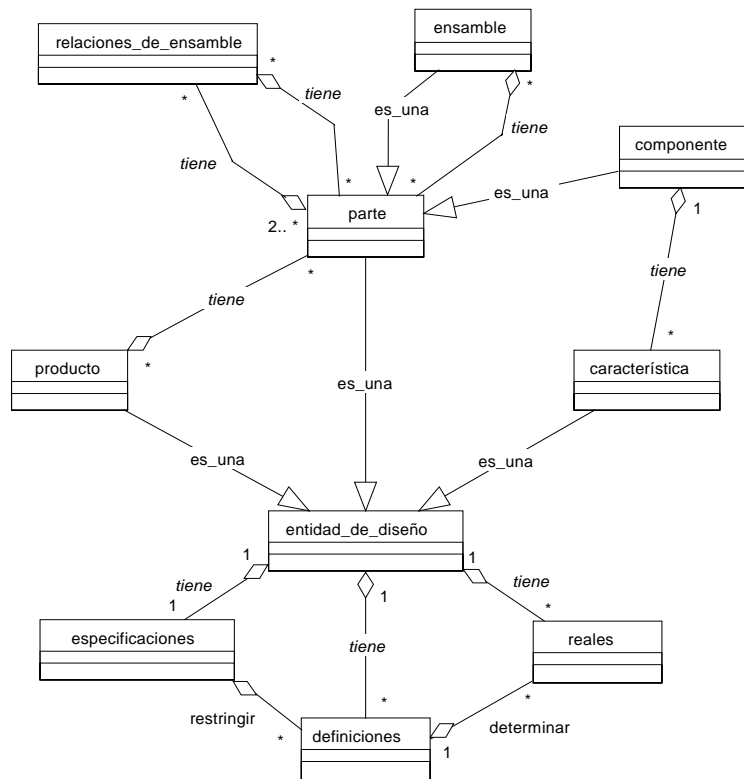
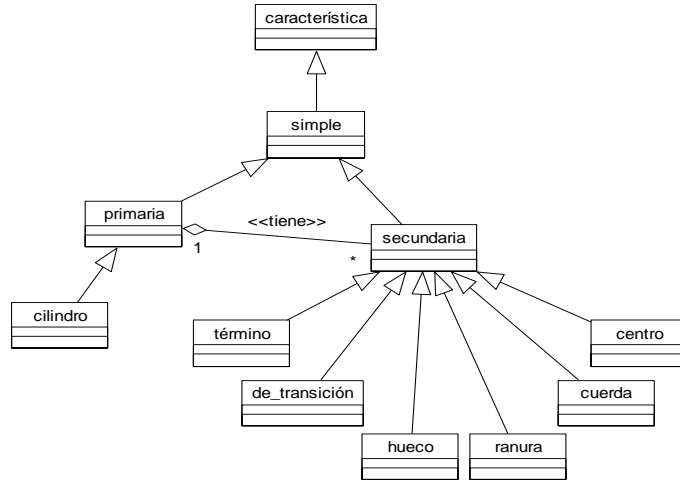


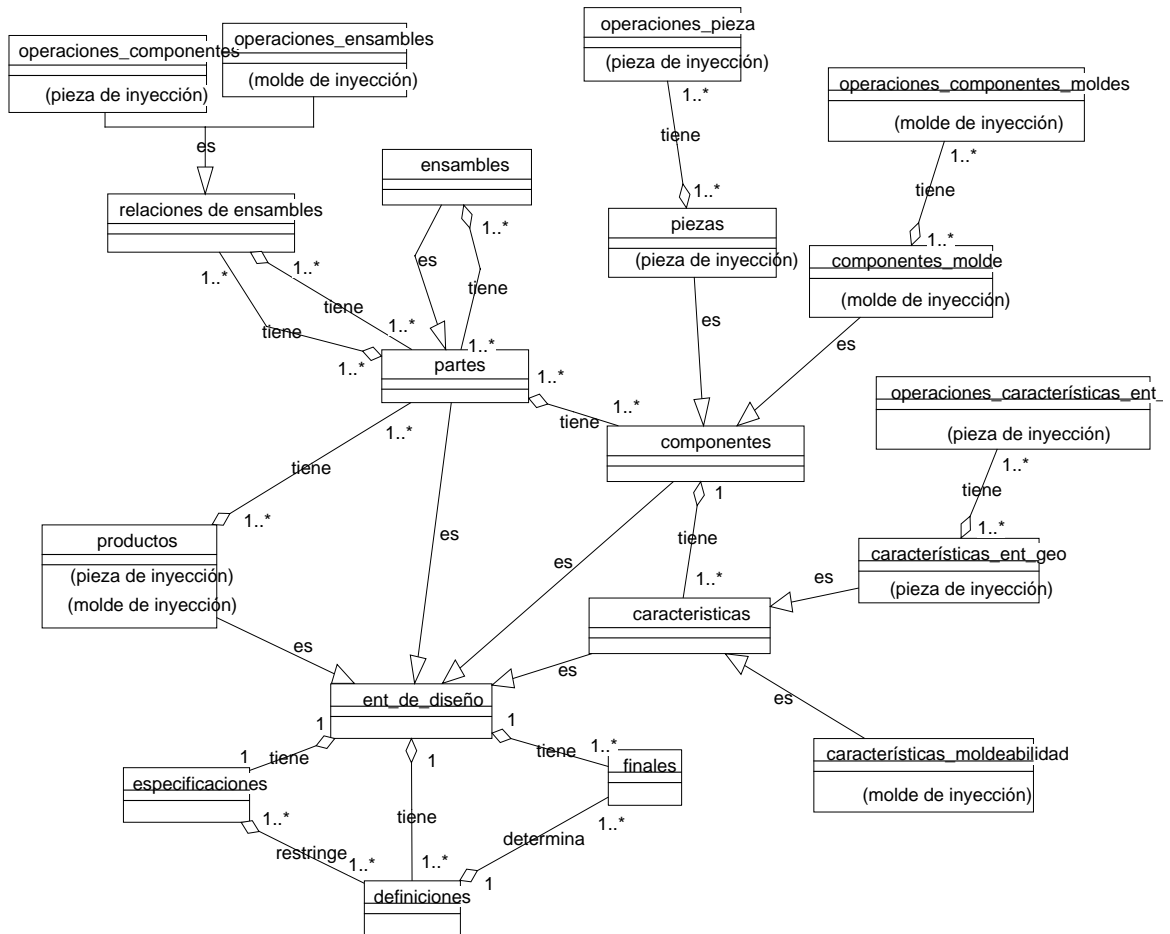
Figura 4.4 Representación de relaciones en el Modelo del Producto Borja (1997).

Como cada clase de la taxonomía *característica* intenta ser lo suficientemente genérica para permitir diferentes definiciones, se tiene una clase llamada *simple*, la cual consiste de dos subclases *primaria* y *secundaria* (Fig. 4.5). La *característica primaria* constituyen la estructura principal de los componentes y son capaces de unirse o ligarse otras características primarias; y la *característica secundaria* se integra a la característica primaria para satisfacer requerimientos particulares de funcionalidad o manufactura (Borja, 1997). Estas dos ultimas clases permiten representar partes rotacionales producidas por operaciones de maquinado y en particular por torneado.



**Figura 4.5 Representación de relaciones en el Modelo del Producto Borja (Mirón, 1999).**

Como se muestra en la figura 4.6 la parte central del modelo del producto de Morano no cambia con respecto al de Borja por lo que se siguen conservando las seis categorías de información definidas por Borja, además de esto se aprecian clases incorporadas para el modelado de moldes de inyección de plástico. Por lo que tenemos modelado de productos y además en el caso de que se requieran los moldes de inyección de plástico.



**Figura 4.6 Modelo del Producto propuesto por Morano.**

Requerimientos que cumple el modelos propuesto por Morano (2000).

1. Soporta especificaciones del producto
2. Soporte de información del tipo geométrica, topología y dimensiones.
3. Soporte de información relacionada con tolerancias dimensionales.
4. Soporte de información relacionada con la función de la pieza.
5. Soporte de relaciones de información (entre elementos del producto)
6. Soporte de funcionalidad
7. Información de manufactura moldeabilidad y maquinabilidad

Podemos apreciar que las cinco categorías de información que se requerían para el proceso de *Desarrollo concurrente de productos*, el modelo de Morano las cumple satisfactoriamente. Sin embargo, en lo que respecta a los objetos de información sólo cumple con el objeto *Producto*.

Considerando que el modelo propuesto por Morano modela piezas de revolución y en el presente trabajo se desea evaluar la maquinabilidad de piezas de revolución se considera que el modelo de Morano, podría cumplir con los requerimientos del presente trabajo, sí se modifica adecuadamente.

### Clase Documentos

Si bien es cierto que se han desarrollado modelos del producto y modelos de manufactura, que representan y describen la situación de una empresa en términos de especificaciones y propiedades de los productos (funcionabilidad, operacional, materiales, geometría, etc) y en los recursos de manufactura (herramientas, máquinas herramientas, etc), procesos y estrategias: no han considerado el ciclo de vida de los documentos, ya que la información que contienen los modelos son los requerimientos de información propios del proceso a representar.

Para poder utilizar el concepto de objeto *Documento* en los modelos de información, se define al objeto *Documento* como la información que es utilizada para definir un producto (desde el punto de vista de: geometría, topología, tolerancias y función) o proceso. En la figura 4.7 se muestra el objeto *Documento*.

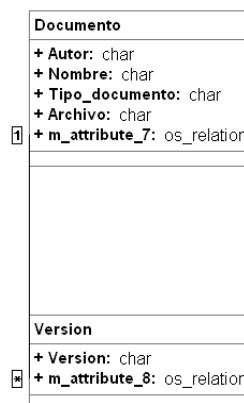


Figura 4.7 Definición de la clase Documento.

## Modelo del producto modificado

Al modelo del producto seleccionado, se agregan las clases *Documento* y *Versión*, la clase *parte* usa la clase *Documento*, para describir el tipo de información que se genera, ya que puede ser de texto o gráfico (programas de CAD) por ejemplo, así, como la versión en donde se encuentra el diseño. Cada vez que se genere una parte nueva o se cumplan las condiciones de cambio en la geometría, la topología, las tolerancias y la función se generará un documento (Fig. 4.8).

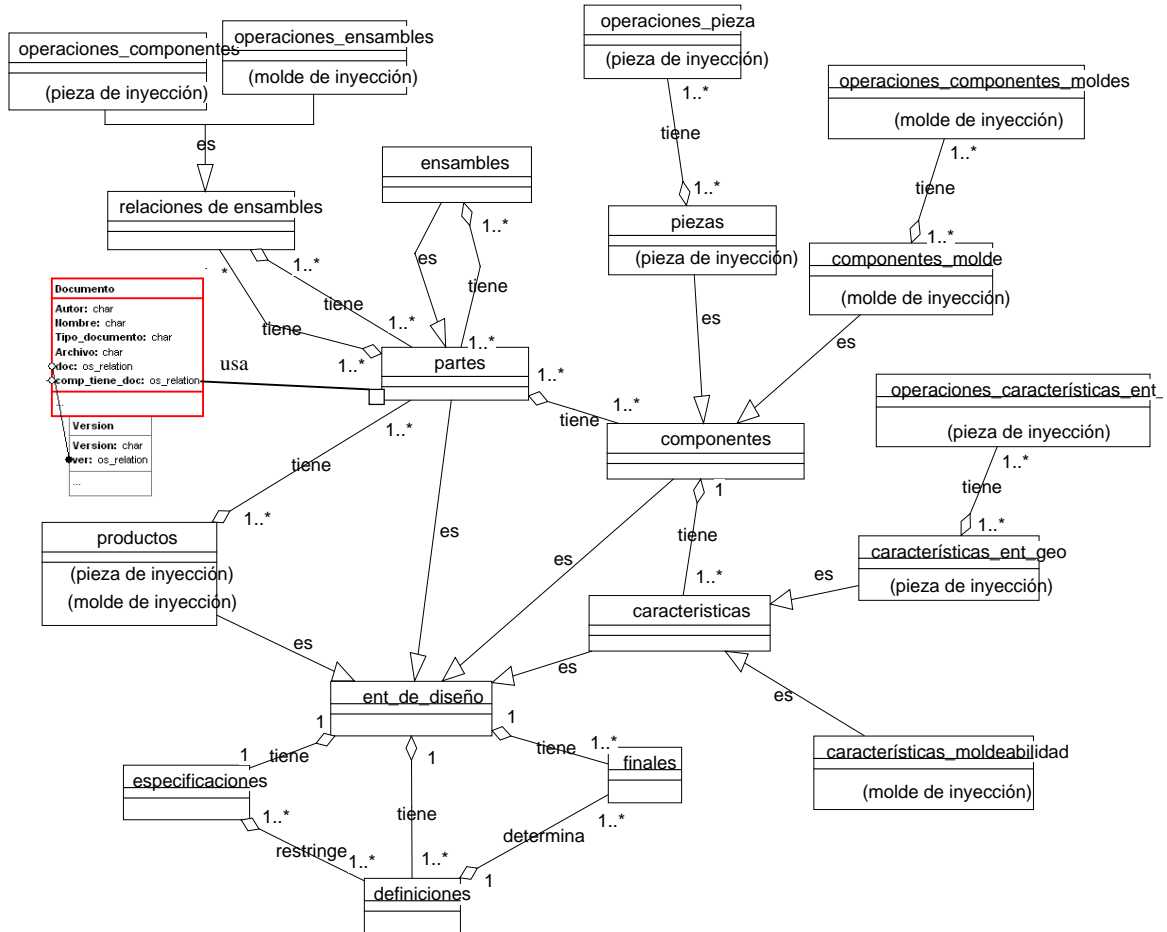
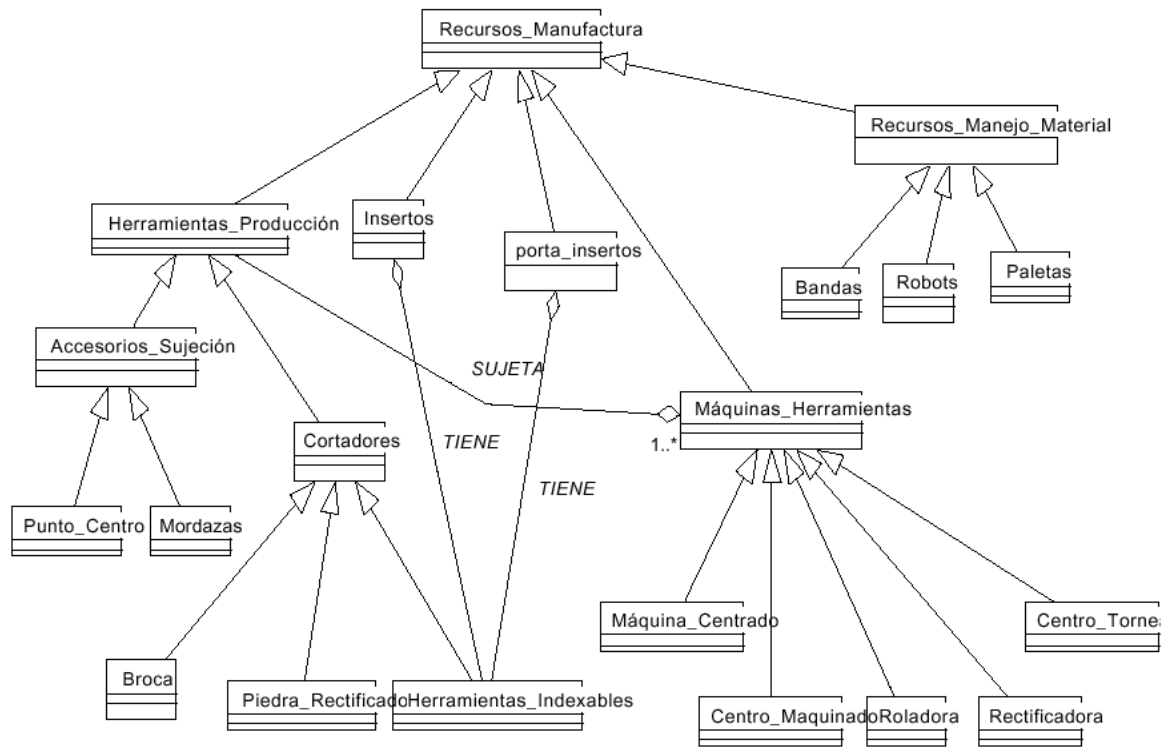


Figura 4.8 Modelo del producto propuesto.

## Modelo de manufactura

En lo que respecta al modelo de manufactura se utilizará el modelo de Ayala (2001) basado en el modelo de Molina. La principal ventaja de este modelo es la capacidad de modelar procesos de arranque de viruta y de conformado de materiales (Fig. 4.9).



**Figura 4.9 Modelo de manufactura propuesto.**

## **5 ALGORITMO PARA LA EVALUACIÓN DE MANUFACTURABILIDAD**

### **5.1 Introducción**

En el presente capítulo se describe el algoritmo propuesto para realizar el diseño concurrente de productos y la evaluación de la manufacturabilidad. Este algoritmo se basa en la información contenida en los modelos de información propuestos (sección 4.2).

### **5.2 Índices de manufacturabilidad**

Los diseñadores tienen limitado conocimiento de los procesos de manufactura, y estos no saben todas las implicaciones que tienen las decisiones realizadas durante el proceso de diseño, especialmente, si las dimensiones y tolerancias especificadas en las piezas causan problemas en la manufactura o ensamble (Gebresenbet 2002, Chen 2002).

Los factores que influyen en la manufacturabilidad son complejidad de la forma, complejidad tecnológica y complejidad de ensamble (Gebresenbet, ). Además, como se mencionó en la sección 2.3, la manufacturabilidad es medida en términos de tiempo, costo y recursos.

La mayoría de los diseñadores están concentrados en resolver problemas de función y comparar alternativas de diseño para optimizarlas. La secuencia de manufactura, la selección de herramientas no son parámetros que fácilmente se pueden incorporar al diseño.

Existe una gran cantidad de trabajos que evalúan la manufacturabilidad formalizando el conocimiento y la información usando reglas, ecuaciones y algoritmos optimizados. Sin embargo, en el día a día los diseñadores piensan y se expresan con reglas heurísticas que les facilitan el trabajo (Ong, 2003) .

Por lo que, en el presente trabajo se propone relacionar la complejidad de la forma y la complejidad tecnológica con medidas de tiempo y costo. De tal manera que a los diseñadores les permita diseñar productos fáciles y económicamente manufacturables, sin la necesidad de utilizar y calcular costos o tiempos de manufactura. De tal suerte, que el diseñador evalúe múltiples restricciones de manufactura utilizando parámetros que conozca y que le sean familiares.

La estructura o la forma de un producto es definida por la funcionalidad, y las tolerancias son especificadas acorde a la funcionalidad y la relación con otros productos (Ji, 1999).

La forma del producto afecta directamente al costo de la manufactura. El maquinado de piezas requiere de elementos de sujeción, elementos de posicionamiento, herramientas y elementos de transporte. Si las piezas a maquinar tienen que posicionarse varias ocasiones, se tiene la necesidad de diseñar diversos elementos de sujeción y elementos de posicionamiento, además de aumentar el tiempo de preparación y disminuir el

tiempo efectivo de maquinado. Todo lo anterior repercute en aumento de tiempo de producción y aumento de los costos.

Las dimensiones y tolerancias definen el grado de dificultad para obtener las piezas con las instalaciones de manufactura disponibles y la secuencia de operaciones. Si las tolerancias son demasiado estrechas y existen en demasía, el proceso de manufactura será largo y especializado, por lo tanto tendrá un mayor costo.

A partir de los tipos de información que contiene el modelo del producto seleccionado (sección 4.3), y lo arriba mencionado, se propone medir la manufacturabilidad de los productos.

Los parámetros de evaluación de la manufactura que se proponen para el presente trabajo son:

- **atributos geométricos;** *orientación, accesibilidad, complejidad estandarización, y*
- **atributos tecnológicos;** *tolerancia dimensional, acabado superficial y tolerancia en operaciones.*

Estos atributos pueden ser utilizados para evaluar desde las etapas iniciales del diseño hasta el diseño final o para rediseño de productos (Ayala, 2003). De los cuatro atributos geométricos propuestos, tres son incorporados de la literatura (*orientación* y *complejidad* (Ong, 2003) y *accesibilidad* (Gu, 1997) y uno es propuesto por el autor (*estandarización*).

En lo que respecta a los atributos tecnológicos los cuatro atributos son propuestos por el autor.

### **Atributos geométricos**

*Orientación:* se refiere a la posición del eje principal de la máquina con respecto a la normal de las superficies de la parte. Las superficies que no son paralelas o perpendiculares a la dirección principal de la máquina requieren de una reorientación. La ecuación 1 es usada para calcular la orientación (Ong, 2003).

$$O = \frac{\text{Número de normales paralelas o perpendiculares a los ejes principales de la máquina}}{\text{Número de superficies totales de la parte}} \quad (1)$$

donde:

O = orientación

Para calcular la *orientación* es necesario contar con la geometría y la topología, recordemos que ésta información se encuentra en el modelo del producto. Al conocer la posición de las superficies a maquinar se puede saber si las normales coinciden con los ejes principales de la máquina a utilizar o si es necesaria cambiar de posición la pieza varias ocasiones a pieza para poderla maquinar.

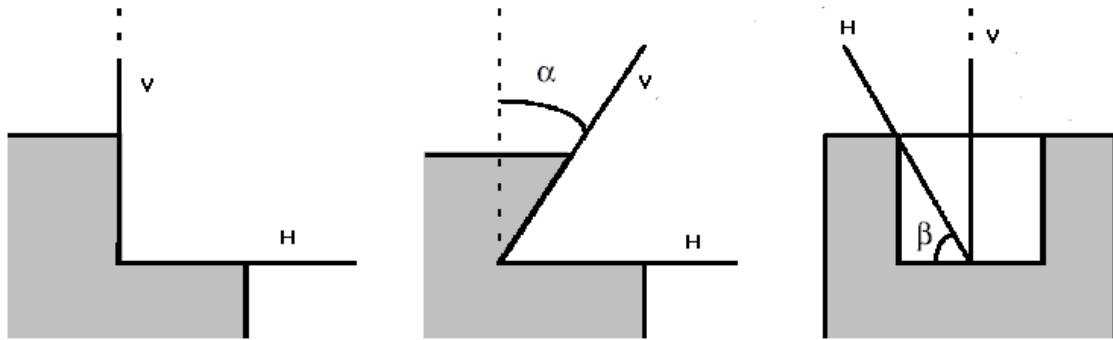
*Accesibilidad*: se refiere como la dificultad para acceder a una característica y se calcula de acuerdo con Gu (1997).

$$A = \frac{(2\alpha + \beta)}{270} + 1 \quad (2)$$

donde:

$\alpha$ : es el ángulo que se forma entre el eje principal de la máquina herramienta (representado por la línea punteada que se muestra en la figura 5.1) y un eje llamado **V** que se dibuja desde un punto de la superficie a maquinar hasta un punto cualquiera fuera de la cavidad y que es lo más cercano a la normal de la superficie.

$\beta$ : es el ángulo que se forma entre la superficie a maquinar y un eje llamado **H** que se dibuja desde un punto de la superficie a maquinar hasta un punto cualquiera fuera de la cavidad y que es lo más cercano a la superficie a maquinar.



**Figura 5.1** Accesibilidad para maquinado

*Complejidad*: se define como la cantidad de detalles en un característica primaria (Gu, 1997) y es medida por la cantidad de características secundarias asociadas a ella.

$$C = \frac{1}{1+(\text{Número de características secundarias})} \quad (3)$$

donde:

C= complejidad

Se puede apreciar, que para las características secundarias  $C = 1$ , ya que ellas no tienen asociadas otras características.

*Estandarización*: se refiere a la selección de dimensiones que coinciden con dimensiones nominales (Ayala, 2003).

$$E = \frac{\text{Número de dimensiones nominales}}{\text{Número de dimensiones totales}} \quad (4)$$

donde:

E = estandarización

Las normas ISO 406:1987 proponen medidas nominales (basadas en la serie de Renard) para realizar el cálculo de tolerancias. El uso de estas medidas nominales asegura que existen herramientas para manufactura la pieza y que no será necesario diseñar



herramientas especiales que incrementan el costo. Mientras más medidas nominales existan mayor es la estandarización.

### **Atributos tecnológicos**

*Tolerancia dimensional*: determina la relación de las tolerancias con el costo de la pieza, y se define como. :

$$TD = \frac{\text{Dimensiones con tolerancias dimensionales}}{\text{Dimensiones totales}} + 1 \quad (5)$$

donde :

TD = Tolerancia fundamental

Basado en la tolerancias fundamentales (IT) definidas en las normas ISO, se dice que las tolerancias fundamentales son la amplitud de la zona de tolerancia. Esta zona varia dependiendo de la utilización o servicio de la pieza que se fabrica. Sin embargo, los diseñadores pueden exagerar en asignar la cantidad de tolerancias que no son necesarias, ya sea por costumbre o como medida de prevención. Así, mientras en una pieza existan una gran cantidad de tolerancia, entonces aumentará el costo y el tiempo de manufactura.

*Acabado superficial*: determina la relación entre el acabado superficial y el costo de la pieza, se define como:

$$AS = \frac{\text{Superficies sin acabados}}{\text{Superficies totales}} \quad (6)$$

donde:

AS = Acabado superficial

La calidad de la tolerancia implica un estado superficial, ya que una superficie rugosa necesariamente necesitará una tolerancia de fabricación amplia. El proceso de manufactura también determina el acabado superficial (ya que dependen de la velocidad de avance, diámetro de la herramienta, etc).

Por lo que el costo de la manufactura se incrementa con mejores acabados superficiales y con un número mayor de estos.

*Tolerancia en operaciones*: determina la relación de las tolerancias con el costo de la pieza, y se define como

$$TS = \frac{\text{Tolerancia mínima requerida}}{\text{Tolerancia de la operación de manufactura}} \quad (7)$$

donde:

TS = Tolerancia en operaciones

La tolerancia de operación es la tolerancia posible de alcanzar en un proceso de fabricación (torneado, fresado, forma, etc.). Mientras más pequeña es la zona de tolerancia se requiere mayor exigencia en las máquinas, en las herramientas y en el personal calificado. Lo anterior provoca un aumento en tiempo y en costo de la manufactura, por lo que se debe escoger la tolerancia menos cerrada (Vliet, 2004).

Con los procesos de manufactura es posible obtener tolerancias de 0.005 mm (rectificado o superacabado) pero no todos los procesos lo pueden lograr. Al realizar el diseño es posible solicitar una tolerancia que el proceso de manufactura propuesto no puede alcanzar, por lo tanto, es necesario utilizar otro proceso que puede resultar más costoso. Por otro lado, el uso excesivo de tolerancias provoca que aumente el costo de manufactura y tal vez esto sea innecesario.

### Índices de evaluación

Las características primarias y secundarias que tengan un mayor valor al sumar los productos de los atributos geométricos y los pesos de cada atributo ( $W_O, W_A, W_C, W_E$ ), serán las que tengan un mayor índice de manufacturabilidad (MIG) (ecuación 8) (desde el punto de vista geométrico) y así también, las características con un valor mayor al sumar los productos de los atributos tecnológicos y los pesos correspondientes ( $W_{TD}, W_{AS}, W_{TS}$ ), serán las que tengan una mayor índice de manufacturabilidad (MIT) (ecuación 9) (desde el punto de vista tecnológico).

$$MIG = O * (W_o) + A * (W_A) + C * (W_C) + E * (W_E) \quad (8)$$

donde:

MIG Índice de manufacturabilidad geométrico para cada característica.

O= Orientación

A= Accesibilidad

C= Complejidad

E= Estandarización

$W_O$ = Peso asociado al atributo orientación

$W_A$ = Peso asociado al atributo accesibilidad

$W_C$ = Peso asociado al atributo complejidad

$W_E$ = Peso asociado al atributo estandarización

Y sabiendo que:

$$1 = W_o + W_A + W_C + W_E \quad (8.1)$$

$$MIT = TD * (W_{TD}) + AS * (W_{AS}) + TS * (W_{TS}) \quad (9)$$

donde:

MIT= Índice de manufacturabilidad tecnológico por característica

TD= Tolerancia fundamental

AS= Acabado superficial

TS= Tolerancia en operaciones

$W_{TD}$ = Peso asociado al atributo tolerancia fundamental

$W_{AS}$ = Peso asociado al atributo acabado superficial

$W_{TS}$ = Peso asociado al atributo tolerancia en operaciones

Y sabiendo que:

$$1 = W_{TD} + W_{AS} + W_{TS} \quad (9.1)$$

Para cuando se desea obtener el índice de manufacturabilidad geométrica de un componente, se realiza la sumatoria de los índices de las características primarias y las características secundarias (ecuación 10).

$$TG = \sum_{i=1}^n MIG_i + \sum_{i=1}^n MIT_i \quad (10)$$

donde:

TG = Es el índice de manufacturabilidad total del componente.

MIG= Es la suma de los índices de manufacturabilidad geométrico de cada característica primaria y secundaria que conforma a la pieza.

MIT= Es la suma de los índices de manufacturabilidad tecnológicos de cada característica primaria y secundaria que conforma a la pieza.

La evaluación se realiza desde dos puntos de vista, geométrico y tecnológico. Al realizar un diseño preliminar los valores de los pesos pueden ser igual a 1, lo que indicaría que el diseñador quiere cumplir con todos los factores de manufacturabilidad. Sin embargo, al obtener una calificación baja, los diseñadores tienen la posibilidad de incrementar la manufacturabilidad modificando los valores de los pesos y mostrando los aspectos que se pueden modificar para aumentar la manufacturabilidad.

En la sección 5.4 se presentarán ejemplos del cálculo de los índices de manufacturabilidad.

### **5.3 Algoritmo para la evaluación de manufacturabilidad**

Cuando se desea controlar los impactos de las decisiones tomadas durante el proceso de diseño, se requiere de una estrategia para incorporar consideraciones de manufactura, costos y conocimiento, y se debe realizar de manera ordenada y sistemática (Chan, 2000).

El punto importante en el diseño es la exploración de diversos escenarios de diseño preliminar de productos. Para analizar un gran número de alternativas es necesario seleccionar un algoritmo que muestre el escenario de manufactura más favorable acorde al objetivo deseado.

La metodología propuesta para medir la manufacturabilidad se muestra en la figura 5.2. La evaluación de producto se puede realizar en diferentes fases como se mencionó anteriormente.

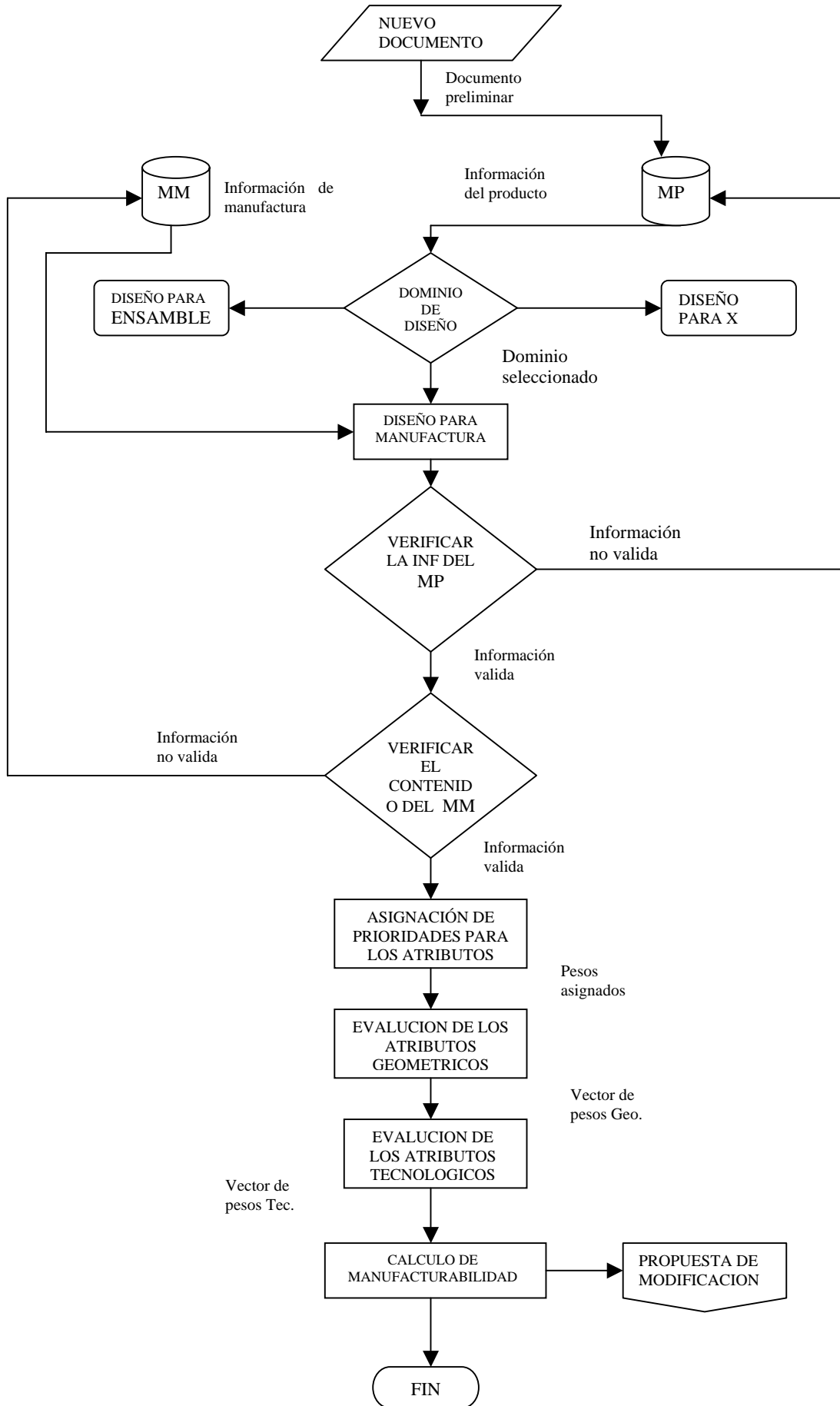


Figura 5.2 Algoritmo para evaluación de manufacturabilidad.

Para realizar la evaluación es necesario contar con dos elementos básicos: un documento nuevo, el cual da origen a un documento preliminar; en donde se guarda la información preliminar del producto (MP) y por último la información relacionada con las instalaciones donde se desea producir las piezas diseñadas.

A continuación se realiza la selección del dominio de diseño, que puede ser DFM o DFA o cualquier otro criterio de DFX. Se consideran varios dominios con la finalidad de que en esta metodología se puedan incorporar más de uno. Como en este trabajo la idea es diseñar para manufactura el dominio viable será *Diseño para manufactura*. Recordando el modelo IDEF0 mostrado anteriormente (sección 4.3), la actividad que describe al DFM es A1512-*Diseño para Manufactura*.

El uso de criterios separados de cada dominio de diseño, permite especificar la relación entre los atributos del diseño y las actividades de manufactura, ensamble, etc., reduciendo la necesidad de rediseños y la reducción del tiempo y costo de producción.

La evaluación de manufactura inicia con la *Verificación de la información* del producto. Esta actividad consiste en verificar que la información preliminar existente sea la mínima necesaria para realizar la evaluación. La información válida mínima consiste de la definición de geometría, topología, las dimensiones y las tolerancias tentativas.

Se verifica que la geometría y la topología sea consistente, esto se logra verificando que existan características primarias y secundarias. También, que las características secundarias se encuentren asociadas a las características primarias y que se encuentren posicionadas secuencialmente, para asegurar que no hay traslapes entre ellas.

Finalmente, se verifica que todas las características primarias y secundarias estén asociadas a dimensiones y tolerancias.

La información no válida resulta en bajas puntualizaciones de información faltante para continuar la evaluación.

Si la información es válida, entonces se verifica la información de las instalaciones donde se piensa producir el producto. La verificación se realiza desde el punto de vista, de la existencia de los equipos (máquinas, herramientas, etc) necesarios para obtener la geometría, parámetros de acabados superficiales y tolerancias de pieza.

Al igual que en el paso anterior se generan comentarios sobre la información faltante.

En el caso de existir los procesos, herramientas, dimensiones y tolerancias, la información se considera válida y se continúa con la asignación de prioridades para realizar la evaluación de la manufacturabilidad.

Cuando los factores económicos se han reducido en números como cantidad de partes, precios unitarios y el tiempo para producirlos, es posible realizar cálculos de una manera sencilla, sin embargo, cuando los factores a calcular son intangibles o subjetivos calcular resulta más complicado que obtener mediciones de efectividad.

Esto mismo sucede con los atributos que se proponen en el presente trabajo, con ellos no es posible obtener mediciones de efectividad, de costo o de tiempo directamente. Por

lo que es necesario utilizar herramientas que permitan medir todos los factores tangible, intangibles, cualitativos y cuantitativos, como la hace el método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) (Saaty, 1977).

Al proponer medir la manufacturabilidad con los atributos geométricos y tecnológicos, se obtienen ventajas como: se utiliza un lenguaje que los diseñadores emplean de manera cotidiana, es posible comparar diferentes alternativas de solución desde diferentes puntos de vista.

Para dar valor a los pesos que se utilizan en las ecuaciones (ecuación 8) y (ecuación 9), se usa la metodología propuesta en el método AHP, donde se estructuran jerárquicamente los atributos.

El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho de que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Ávila, 2000). Los atributos no se pueden optimizar independientemente ya que algunos se contraponen.

Algunas de las ventajas del AHP frente a otros métodos de Decisión Multicriterio son (Ávila, 2000):

- Presentar un sustento matemático;
- Permitir desglosar y analizar un problema por partes;
- Permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común;
- Incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso;
- Permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso;
- Generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad; y
- Ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.

El método AHP propone que se asignen pesos en función de la importancia subjetiva, las escalas de comparación en el método se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1 Escalas de comparación.**

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo.
3	Ligera importancia de una sobre otro	La experiencia y el juicio se inclina ligeramente a favor de una de las dos actividades.
5	De gran importancia	La experiencia y el juicio se inclina fuertemente a favor de una de las dos actividades.
7	Importancia demostrada	La experiencia demostrada determina que una actividad preferida que otra dos actividad.
9	Importancia absoluta	La evidencia favorece claramente a una actividad sobre otra.
2,4,6,8	Valores intermedios entre	Cuando se tiene un compromiso

	los mencionados arriba	
Recíprocos	Si la actividad $i$ tiene un valor de importancia, entonces la actividad $j$ tendrá el recíproco del valor de $i$ .	

Por ejemplo, priorizando los *atributos geométricos* y considerando a Accesibilidad como la actividad  $i$  (la más importante, desde el punto de vista de diseñador).

Accesibilidad es de gran importancia más que Orientación; lo que implica que la intensidad de importancia es: 5.

Accesibilidad es ligeramente más importante que Complejidad, lo que implica intensidad de: 3.

Accesibilidad mucho más importante que Estandarización, lo que implica intensidad de: 7.

Accesibilidad es igualmente de importante que Accesibilidad, lo que implica intensidad de: 1.

Los recíprocos se determinan en función de la actividad de mayor importancia.

Resumiendo los valores de comparación podemos escribir la tabla 2.

**Tabla 2 Asignación de comparaciones**

	Accesibilidad	Estandarización	Complejidad	Orientación
Accesibilidad	1	7	3	5
Estandarización		1	5	3
Complejidad			1	3
Orientación				1

Los pesos que faltan se determinan como lo indica la tabla (1), si la actividad  $i$  tiene valor entonces la actividad  $j$  será el recíproco.

Si lo anterior lo colocamos en un arreglo matricial queda de la siguiente manera (ecuación 10):

$$\begin{pmatrix} 1 & 7 & 3 & 5 \\ \frac{1}{7} & 1 & 5 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{5} & 1 & 3 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$





Como se mencionó anteriormente el resultado obtenido es consecuencia de las preferencias que se dieron al generar los vectores de pesos  $w$  de los *atributos geométrico y tecnológicos*. Lo que nos lleva a que este proceso es iterativo hasta que se encuentre la mejor solución para los requerimientos y especificaciones solicitadas por el cliente o el diseñador o por el departamento de manufactura.

#### 5.4 Evaluación de manufacturabilidad

Para mostrar la funcionalidad del algoritmo, a continuación se mostrarán tres casos de cálculo del índice de manufacturabilidad desde el punto de vista geométrico.

##### Caso 1

De la pieza que se muestra en la figura 5.3, se calcularán los atributos geométricos. Se divide por características primarias que son: *Escalón 1* y *Escalón 2*, como se muestra en la figura 5.3, y donde las *Rampa 1* y *Rampa 2* son características secundarias. Los índices de manufactura se evalúan para cada una de las características que conforman a la pieza a manufacturar.

En esta sección, sólo se evaluará la manufacturabilidad de la característica *Rampa 1*. Se inicia con el cálculo del atributo geométrico *orientación*. Recordando la definición de orientación (1), la rampa está compuesta por las superficies S7, S8 y S9, en donde la normal de la superficie S7 no es perpendicular o paralela a los ejes X, Y y Z, que representan los ejes de máquinas fresadoras con ejes horizontales y verticales respectivamente, por lo tanto la orientación es:

$$O = \frac{2}{3}$$

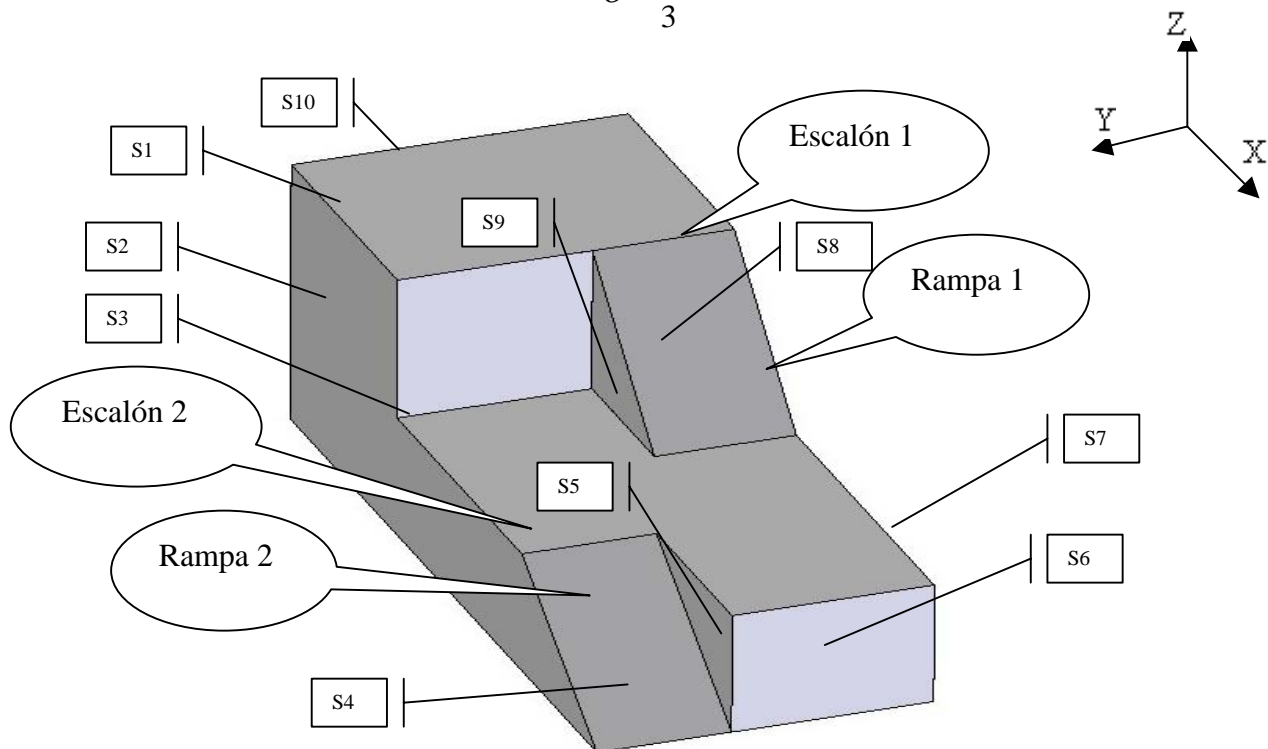
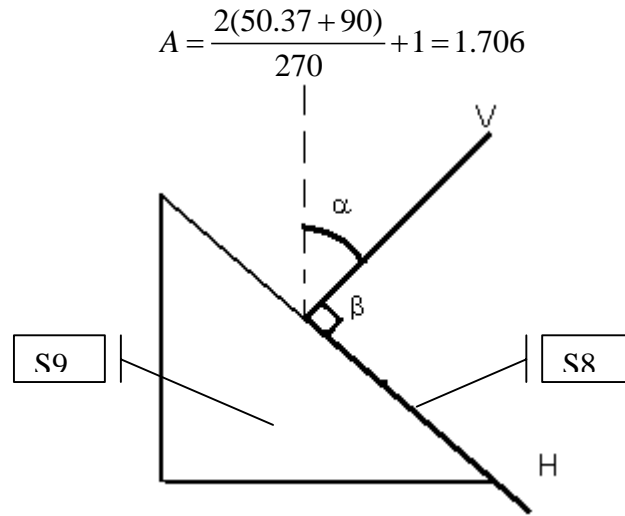


Figura 5.3 División de la pieza por características.

Utilizando la ecuación (2), se determina que la accesibilidad es:



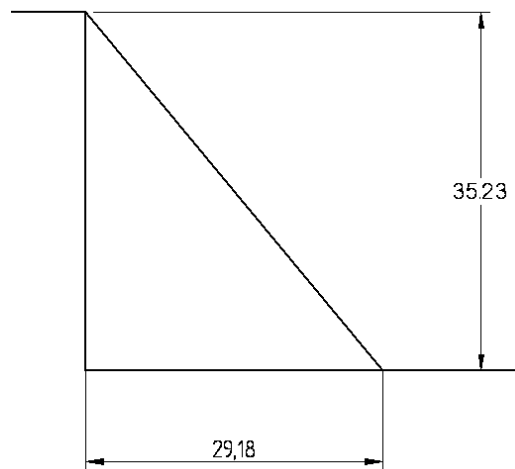
**Figura 5.4** Ángulos de accesibilidad para maquinado.

El ángulo  $\alpha$  es el que se forma entre la línea punteada en la figura 5.4 que representa el eje principal de la máquina herramienta y la línea normal a la superficie **V**. Para obtener el ángulo  $\beta$ , se traza una línea **H** que desde un punto de la superficie y que es lo más cercano a la superficie a maquinarse.

Para calcular la *complejidad* se hace referencia a la figura 5.3, y como se mencionó anteriormente la *Rampa 1* es una característica secundaria, por lo tanto el valor de la complejidad es:

$$C = 1$$

La determinación de la estandarización (ecuación 4) se obtiene verificando si las dimensiones que se utilizaron en la figura corresponden a medidas de la serie de Renard. Se han adoptado los valores de la serie de Renard, para reducir los costos de fabricación y verificación, buscando reducir el número de valores que pueden tener las dimensiones de una pieza mecánica.



**Figura 5.4** Dimensiones de la rampa.

$$E = \frac{0}{3} = 0$$

Como se recordará, si las dimensiones son lo más cercanas a las dimensiones nominales, será más sencillo realizar las operaciones de maquinado, ya que las aproximaciones de manufactura y las mediciones de la pieza se realizarán en menor cantidad. Es más sencillo leer 30 mm que 29.18 mm como medidas nominales.

Habiendo calculado los atributos geométricos, es posible determinar el índice de manufacturabilidad geométrica empleando la ecuación (ecuación 8). Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia y normalizándolos tenemos que el índice de manufacturabilidad geométrica es de 0.5.

$$MIG = 0*(0.25) + 1*(0.25) + 1*(0.25) + 0*(0.25) = 0.5$$

Ahora considerando que el diseñador, puede privilegiar algunos aspectos de diseño que considera más importantes que otros puede aplicar el método AHP. Para mostrarlo en este ejemplo se considera que el diseñador quiere darle mayor importancia a la *accesibilidad* y a *complejidad*.

Suponga la siguiente tabla de importancias relativas de los atributos geométricos:

**Tabla 3 Importancias relativas asignadas por el diseñador.**

	Accesibilidad	Orientación	Complejidad	Estandarización
Accesibilidad	1	5	2	4
Orientación	1/5	1	1/2	1/2
Complejidad	1/2	2	1	2
Estandarización	1/4	2	1/2	1

De donde es posible obtener  $w = [ 0.5115 \quad 0.0986 \quad 0.2433 \quad 0.1466 ]$ , que es el vector de pesos geométricos (es posible comprobar que la suma de los pesos es igual a 1), sustituyendo en la ecuación (ecuación 8) nuevamente tenemos ahora que el índice de manufacturabilidad para la característica *Rampa 1* es:

$$MIG = 0*(0.0986) + 1*(0.5115) + 1*(0.2433) + 0*(0.1466) = 0.754$$

Como se puede observar el índice de manufacturabilidad geométrica aumentó sólo cambiando el punto de vista del diseñador. Al aumentar la manufacturabilidad el diseñador considera que: se puede acceder fácilmente a la característica y esto compensa la problemática de tener que posicionar la pieza en varias ocasiones para manufacturar la rampa (ya que en manufactura se busca que las superficies a maquinar siempre sean paralelas o perpendiculares al eje principal de la máquina).

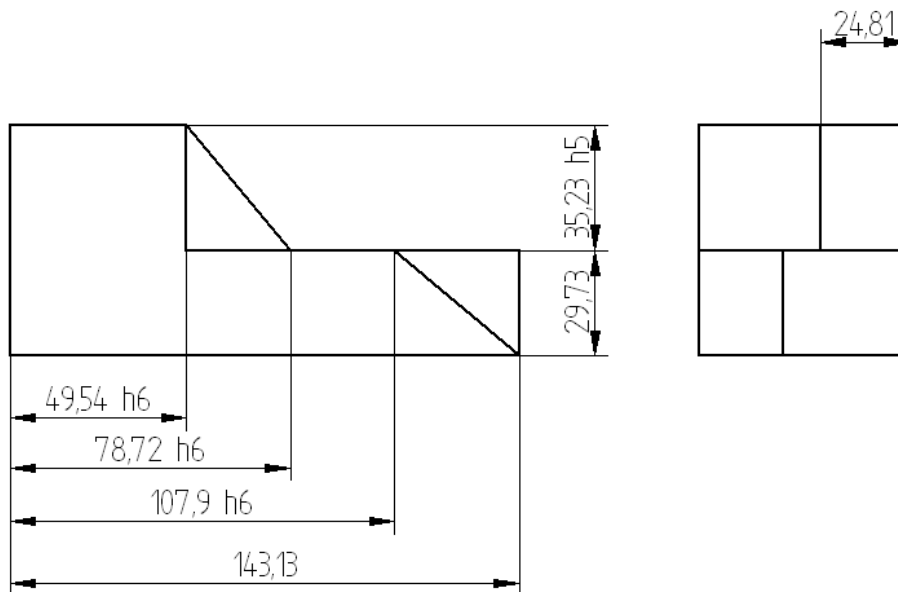
A continuación se calculará la manufacturabilidad utilizando los atributos tecnológicos. Se presentará el desarrollo sólo para la Rampa 1, como se hizo anteriormente.

Como primer paso se calculará la *tolerancia dimensional*. Como se puede apreciar en la figura 5.5 las tolerancias que tienen asociadas las dimensiones de la *Rampa 1*, coinciden con los valores de las tolerancias fundamentales recomendados por lo que:

$$TD = \frac{3}{3} = 1$$

Para calcular el *acabado superficial*, podemos observar en la figura 5.5 que no se tienen definidas superficies con acabados, por lo que:

$$AS = \frac{3}{3} = 1$$



**Figura 5.5** Acotación de la pieza en estudio.

Finalmente el cálculo del atributo tolerancia en operaciones, se realiza considerando que algunos procesos de manufactura son intrínsecamente más precisos que otros, la mayoría de los maquinados son capaces de obtener tolerancias de 0.05 mm (Groover, 1997). Utilizando los datos proporcionados por ASME (1982) sabemos que la tolerancia del proceso de fresado es de 16  $\mu\text{m}$ , mientras que la tolerancia mínima requerida en la figura 5.5 es en la dimensión 35.23 h5 que equivale a 11  $\mu\text{m}$ , por tanto:

$$TS = \frac{11}{16} = 0.68$$

Después de calcular los atributos tecnológicos, es posible determinar el índice de manufacturabilidad geométrica empleando la ecuación (ecuación 9). Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia y normalizándolos tenemos, que el índice de manufacturabilidad geométrica es de 0.88, que es alto. Con lo cual, se considera que desde el punto de vista tecnológico se realiza un buen diseño para manufactura.

$$MIT = 1*(0.33) + 1*(0.33) + 0.68*(0.33) = 0.887$$

## Caso2

El siguiente caso que se presentará tiene el objetivo de mostrar la funcionalidad algoritmos propuesto. Además, de mostrar el cálculo del índice de manufacturabilidad total de componentes, que están constituidos por características primarias y secundarias utilizando un sólo proceso de manufactura.

El componente que se seleccionó es la que se muestra en la figura 5.6. El cálculo de la manufacturabilidad inicia al descomponer el eje en características primarias (*cilindro*) y secundarias (*ranura* y *radio*), en la figura 5.7 se plantea la taxonomía característica basada en el modelo de producto utilizado (Apéndice A).

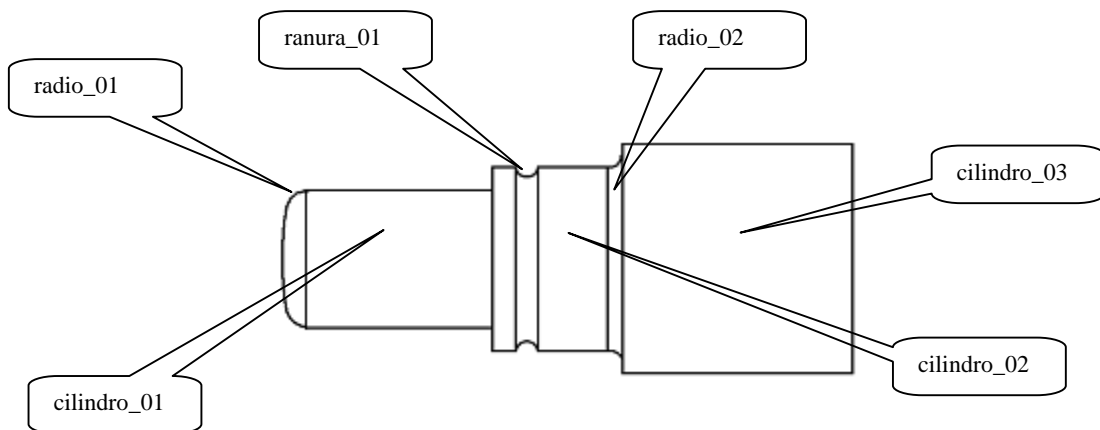


Figura 5.6 Identificación de características primarias y secundarias. (Mirón, 1999)

El componente es un eje de potencia, que se obtiene por el proceso de torneado. A continuación se realizará el cálculo del índice de manufacturabilidad geométrico de todo el componente.

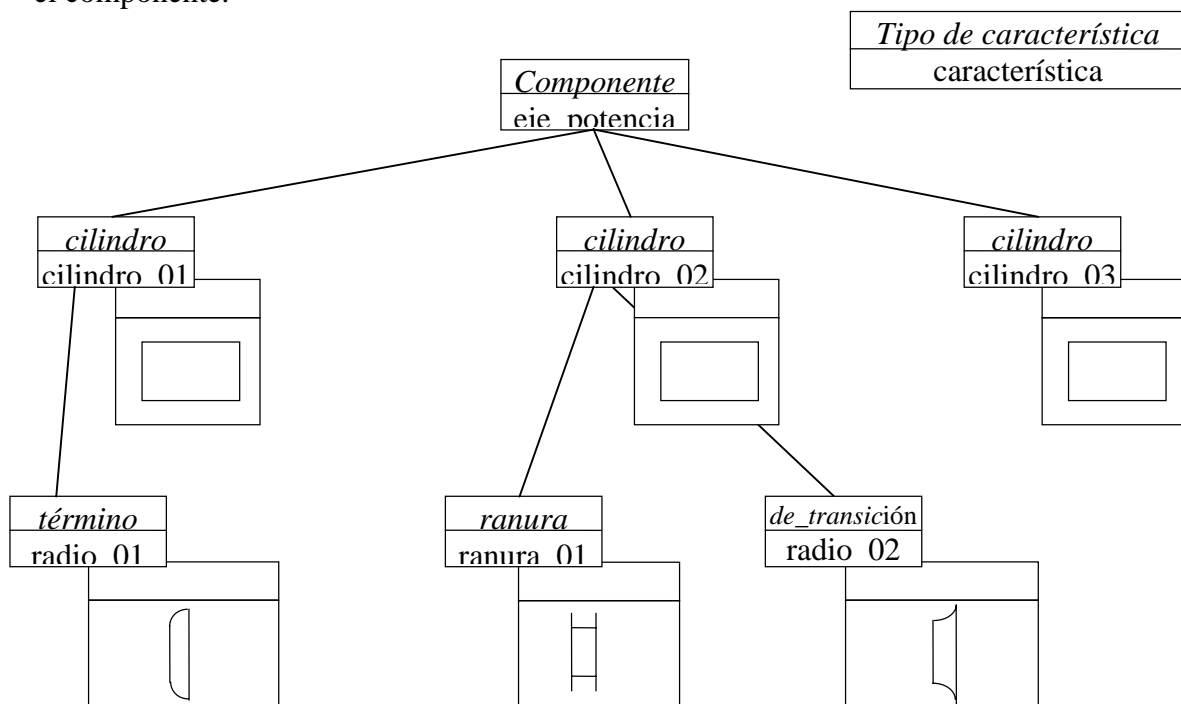


Figura 5.7 Taxonomía del componente en estudio. (Mirón, 1999)

Como se recordará para calcular los índices de manufacturabilidad es necesario contar con la topología y la geometría de la pieza que se muestra en la figura 5.8.

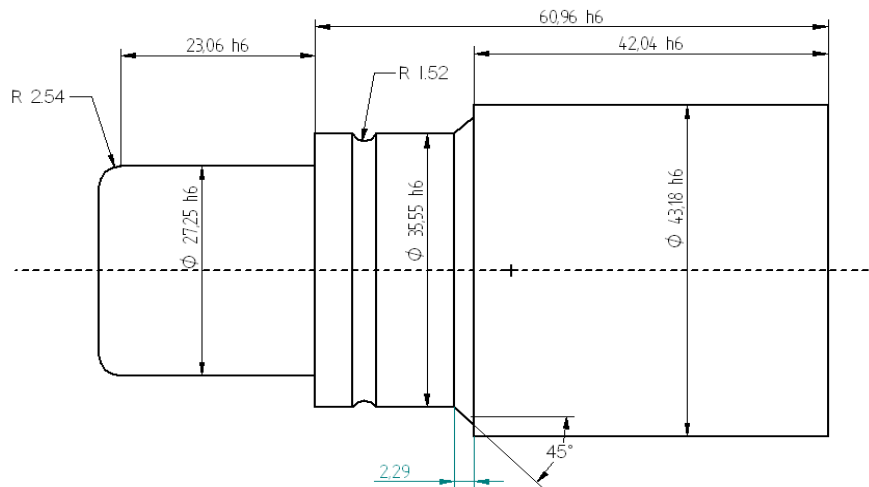


Figura 5.8 Dimensiones y tolerancias de la pieza de revolución.

Utilizando las ecuaciones (1,2,3 y 4) se calcularon los atributos geométricos para cada una de las características del componente y en la tabla 4 se muestran los resultados.

Tabla 4 Valores de los atributos geométricos por característica.

Característica	Orientación	Accesibilidad	Complejidad	Estandarización
<b>cilindro_01</b>	1	1	0.5	0
<b>cilindro_02</b>	1	1	0.3	0
<b>cilindro_03</b>	1	1	1	0
<b>radio_01</b>	1	1	1	0
<b>radio_02</b>	1	1.16	1	0
<b>ranura_01</b>	1	1	1	0

Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia (0.25) y normalizándolos, tenemos en la tabla 5 que, el *cilindro\_03* es la característica más fácil de manufacturar, también, que la característica más complicada es el *cilindro\_2*.

Tabla 5 Evaluación del índice de manufacturabilidad geométrico.

Característica	O*W <sub>o</sub>	A*W <sub>A</sub>	C*W <sub>c</sub>	E*W <sub>E</sub>	MIG
<b>cilindro_01</b>	0.25	0.25	0.125	0	0.625
<b>cilindro_02</b>	0.25	0.25	0.075	0	0.575
<b>cilindro_03</b>	0.25	0.25	0.25	0	0.75
<b>radio_01</b>	0.25	0.25	0.25	0	0.75
<b>radio_02</b>	0.25	0.21	0.25	0	0.71
<b>ranura_01</b>	0.25	0.25	0.25	0	0.75

**MGI** del componente 4.16

Como se puede observar en la tabla 5 el valor máximo de MIG que se puede alcanzar en cada una de las características es 1. Ninguna de las características alcanza el valor

máximo. Lo que indica la existencia de alguna problemática. En este caso, la recomendación para el diseñador será que realice el dimensionamiento de la pieza utilizando medidas de la serie de Renard, como ya se ha mencionado permitirá realizar la fabricación y a la verificación de medidas de una manera más rápida.

Finalmente tenemos que el índice de manufacturabilidad geométrico de todo el componente es 5.32. En el caso de que el diseñador desee dar prioridad a algún atributo específico se establecen la tabla de relaciones relativa como se muestra en la tabla 3 y se calcula nuevamente el índice MIG.

A continuación se calcularán los índices de manufacturabilidad tecnológicos para el eje de transmisión. En la tabla 6 se muestran los valores de los atributos tecnológicos.

**Tabla 6 Resultado del cálculo de los atributos tecnológicos.**

Característica	<i>Tolerancia dimensional</i>	<i>Acabado superficial</i>	<i>Tolerancia de operaciones</i>
<b>cilindro_01</b>	2	0	1.44
<b>cilindro_02</b>	2	0	1.18
<b>cilindro_03</b>	2	0	1.18
<b>radio_01</b>	1	1	1
<b>radio_02</b>	1	1	1
<b>ranura_01</b>	1	1	1

Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia (0.33) y normalizándolos tenemos, que el índice de manufacturabilidad tecnológico es de 4.15 (Tabla 7). El valor máximo del índice MTI será de 6, por lo tanto se tiene un error del 30%, lo que implica que las características primarias será los elementos que se deben revisar para aumentar la manufacturabilidad.

**Tabla 7 Evaluación del índice de manufacturabilidad tecnológico.**

Característica	$TD \cdot W_{TD}$	$AS \cdot W_{AS}$	$TS \cdot W_{TS}$	MTI
<b>cilindro_01</b>	0.16	0	0.28	0.44
<b>cilindro_02</b>	0.16	0	0.099	0.259
<b>cilindro_03</b>	0.16	0	0.33	0.49
<b>radio_01</b>	0.33	0.33	0.33	0.99
<b>radio_02</b>	0.33	0.33	0.33	0.99
<b>ranura_01</b>	0.33	0.33	0.33	0.99

**MTI** del componente                      4.159

La tabla 7 nuevamente ofrece información para el diseñador. La característica primaria *cilindro\_03* tiene la calificación más baja y dos atributos tecnológicos son la causa de esto. La asignación de tolerancias cerradas en el cilindro\_03 es la causa principal de la baja calificación. Se recomendaría al diseñador verificar las tolerancias y corroborar que en realidad son necesarias para el funcionamiento de la pieza.

Finalmente, utilizando la ecuación (10), obtenemos el índice de manufacturabilidad total del componente.

$$TG = MFI + MTI = 8.825$$

Con este último valor es posible evaluar otras alternativas de diseño del eje de transmisión y compararlo para determinar cuál es la mejor opción. De esta manera es posible comparar dos o más diseños desde el mismo punto de vista.

### Caso 3

En esta ocasión se desarrollará la evaluación de manufactura de una tuerca giratoria de acero (AISI 9840), el proceso de estudio comprende los procesos de: torneado, fresado y taladrado (Fig. 5.8).

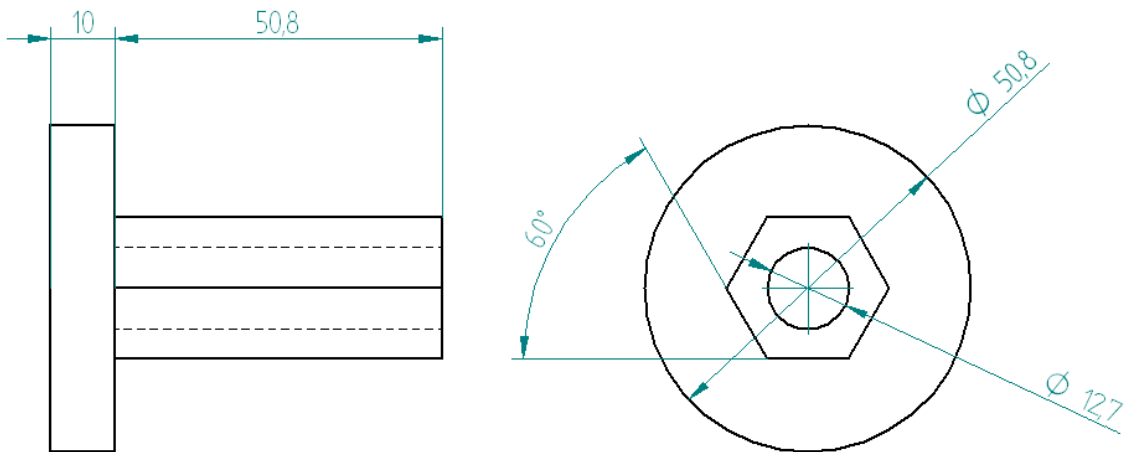


Figura 5.9 Tuerca giratoria de acero.

Como ya se realizó en ocasiones anteriores, el cálculo de la manufacturabilidad inicia al descomponer el eje en características primarias (*cilindro*) y secundarias (*agujero*) (Fig. 5.9).

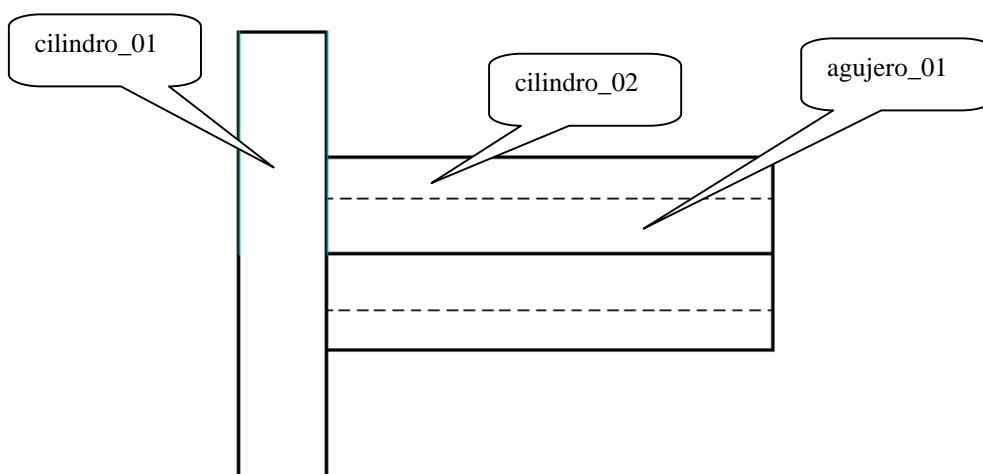


Figura 5.10 Identificación de las características.



En la la tabla 4 se muestran los resultados del cálculo de los atributos geométricos.

**Tabla 8 Atributos geométricos.**

Característica	<i>Orientación</i>	<i>Accesibilidad</i>	<i>Complejidad</i>	<i>Estandarización</i>
<b>cilindro_01</b>	1	1	1	0.5
<b>cilindro_02</b>	1	1	0.5	0
<b>agujero_01</b>	1	1.30	1	0

Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia (0.25) y normalizándolos, tenemos en la tabla 9 que el *cilindro\_01* es la característica más fácil de manufacturar y el índice de manufacturabilidad geométrico de todo el componente es 2.19.

**Tabla 9 Índice de manufacturabilidad geométrico.**

Característica	$O \cdot W_o$	$A \cdot W_A$	$C \cdot W_c$	$E \cdot W_E$	MIG
<b>cilindro_01</b>	0.25	0.25	0.25	0.125	0.875
<b>cilindro_02</b>	0.25	0.25	0.125	0	0.625
<b>agujero_01</b>	0.25	0.19	0.25	0	0.69

**MIG** del componente                      2.19

En el caso de que el diseñador desee dar prioridad a algún atributo específico se establecen la tabla de relaciones relativa como se muestra en la tabla 3 y se calcula nuevamente el índice MIG.

A continuación se calcularán los índices de manufacturabilidad tecnológicos para la tuerca. En la tabla 10 se muestran los valores de los atributos tecnológicos.

**Tabla 10 Atributos tecnológicos.**

Característica	<i>Tolerancia dimensional</i>	<i>Acabado superficial</i>	<i>Tolerancia de operaciones</i>
<b>cilindro_01</b>	1	1	1
<b>cilindro_02</b>	1	1	1
<b>agujero_01</b>	1	1	1

Considerando que todos los atributos geométricos son de la misma importancia (0.33) y normalizándolos tenemos, que el índice de manufacturabilidad tecnológico es de 2.97. Para calcular el atributo tecnológico se utilizó el valor correspondiente a cada proceso. Para el torneado fue de 10  $\mu\text{m}$ , que es una tolerancia cerrada, pero para los requerimientos solicitados en la pieza se encuentra sobrada, ya que el error permitido en la figura no se marca.

Para el *cilindro\_02* que se obtiene con el proceso de fresado, no se solicita tolerancia, pero, la tolerancia dimensionales que se utilizó fue de 16  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 11 Índice de manufacturabilidad tecnológico.**

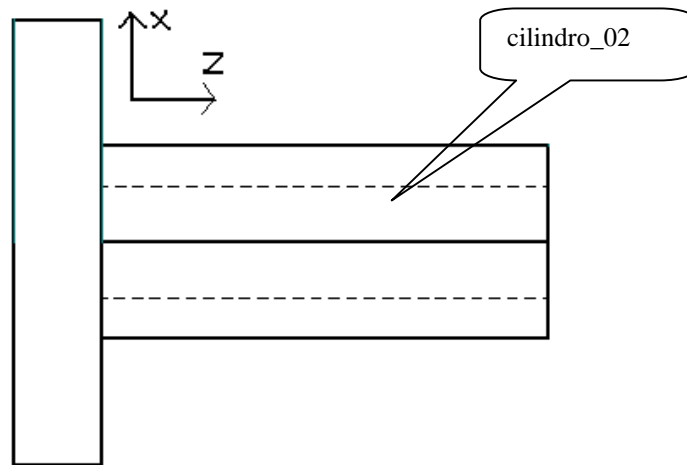
Característica	TD*W <sub>TD</sub>	AS*W <sub>AS</sub>	TS*W <sub>TS</sub>	MTI
<b>cilindro_01</b>	0.33	0.33	0.33	0.99
<b>cilindro_02</b>	0.33	0.33	0.33	0.99
<b>agujero_01</b>	0.33	0.33	0.33	0.99

**MTI** del componente      2.97

Finalmente, utilizando la ecuación (10), obtenemos el índice de manufacturabilidad total del componente.

$$TG = MIG + MTI = 5.16$$

Con los atributos propuestos en el presente trabajo, la geometría de la pieza y las operaciones de manufactura están asociadas. Esto se puede ver de la siguiente manera, el *cilindro\_02* no se puede realiza con el procesos de torneado, no es una pieza de revolución, por lo tanto el índice de manufacturabilidad debería tender a 0. Por ejemplo, calculando el atributo de orientación tendríamos que el *cilindro\_02* tiene siete superficies, de las cuales tres podrían ser paralelas o perpendiculares al eje de trabajo (principal) X (Fig.5.11). Por lo tanto el atributo orientación sería  $O = 3/7=0.42$ , que difiere al valor calculado en la tabla 8, donde  $O = 1$ .



**Figura 5 1 Manufactura del *cilindro\_02* por torneado.**

Con este caso se confirma que los atributos propuestos permiten evaluar la manufacturabilidad de piezas que utilizan más de un proceso de arranque de viruta.

## **6 DISEÑO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE LA MANUFACTURA**

### **6.2 Introducción**

Con el desarrollo del sistema experimental para la evaluación de la manufactura se probará que la metodología propuesta anteriormente se puede implementar en un sistema de DFM asistido por computadora, y en un ambiente concurrente.

### **6.3 Requerimientos y especificaciones**

El sistema deberá cumplir con los siguientes requerimientos y especificaciones.

- Acceso a los modelos de manufactura y del producto.
- Comunicación con el diseñador: La información que se esperaría como respuesta del diseño para manufactura es una lista de atributos (ranuras, agujeros, escalones, cuñeros, tolerancias, geometría, etc) del diseño no manufacturables, es decir, una lista de los posibles puntos de conflicto para la fabricación de la pieza; una lista de las posibles modificaciones que se podrían tener en los mencionados puntos de conflicto; y la definición del proceso de manufactura para cada atributo de diseño.
- Interacción con los ingenieros de diseño para actualizar el modelo del producto.
- Interacción con los ingenieros de manufacturara para actualizar el modelo de manufactura.

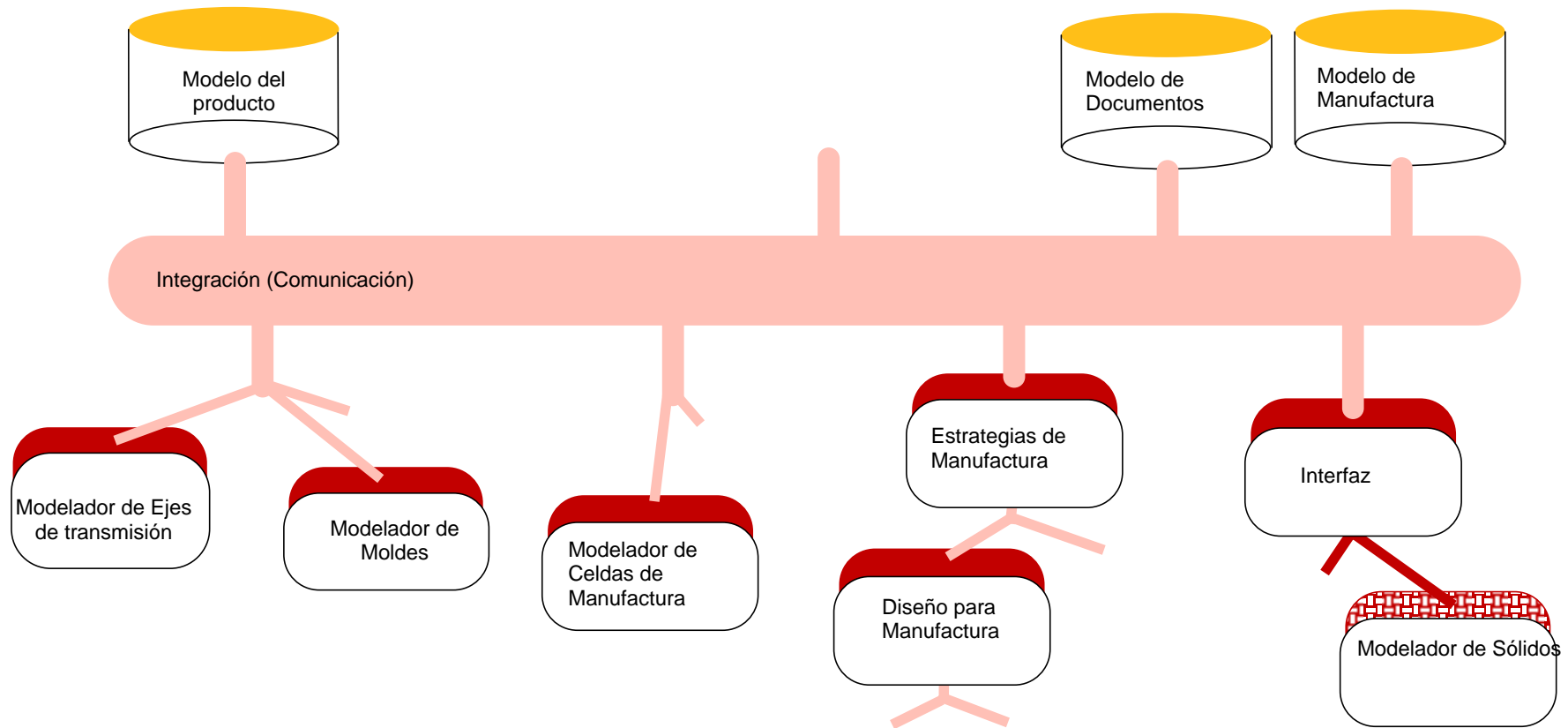
### **6.4 Arquitectura conceptual del proyecto SADET**

La arquitectura general para el sistema de evaluación de la manufacturabilidad utilizada para este trabajo está basada en el proyecto SADET (capítulo 1.6).. En la figura 6.1 se muestra el diagrama de la arquitectura genérica y los elementos utilizados, y se describen a continuación:

- *Modelo del producto* (MP) (capítulo 4.1). Esquema de información que especifica bases de datos que almacenan la estructura, la geometría (cilindros, radios, estriados, engranes, etc.), dimensiones, tolerancias (dimensionales, geométricas y de posición), acabados superficiales e información de manufactura (operaciones, recursos de producción requeridos y geometría de las piezas asociadas) de un eje secundario de transmisión automotriz. El modelo está basado en características.

- *Modelo de manufactura* (MM) (capítulo 4.1). Esquema de información que especifica las capacidades de manufactura de las máquinas herramienta y herramientas necesarios para producir ejes.

- *Modelo de documentos (MD)* (capítulo 4.1). Es el esquema de información que almacena el ciclo de vida de los documentos.
- *Modelador de ejes de transmisión* . Este programa crea bases de datos que representan ejes de acuerdo a la especificación del MP y asiste al diseñador a ingresar datos a ellas por medio de menús, íconos y ventanas.
- *Modelador de moldes*. Este programa crea bases de datos que representan moldes para inyección de plástico de acuerdo a la especificación del MP y asiste al diseñador a ingresar datos a ellas por medio de menús, íconos y ventanas.
- *Modelador de celdas de manufactura*. Este programa crea bases de datos que representan celdas de manufactura de acuerdo a la especificación del MM y asiste al diseñador a ingresar datos a ellas por medio de menús, íconos y ventanas.
- *Diseño para manufactura*. Este programa toma información del MP y MM, para evaluar los ejes de transmisión representados en el MP considerando criterios de facilidad para manufactura. Estos contemplan análisis de geometría, acabados superficiales y tolerancias. En caso de encontrar algún problema, el programa notifica al diseñador y propone una acción correctiva.
- *Modelador de sólidos*. Este programa toma información de un eje del MP, la transforma en un formato entendible por un modelador de sólidos y la salva en un archivo. Posteriormente, este archivo es leído por el modelador de sólidos para generar un modelo en tres dimensiones del eje. La interfaz incluye programas en el modelador para leer el archivo y que creen estriados y engranes. Por medio de la interfaz descrita, SADET tendrá comunicación con un modelador de sólidos.



**Figura 6.1 Modelo SADET**

## 6.5 Diseño del sistema

El diseño del programa y su implantación se realizó utilizando el paradigma de programación orientado a objetos. Las herramientas de desarrollo utilizadas son: la base de datos orientada a objetos Objet Store y el lenguaje de programación Visual C++.

Se utiliza Objet Store, principalmente porque es la base de datos utilizada en el SADET y por la experiencia de uso de la base de datos.

La comunicación con Objet Store es posible realizarla con tres lenguajes de programación, Visual Basic, Java y Visual C++. Como se mencionó anteriormente, el lenguaje elegido fue Visual C++, se consideró realizar la aplicación en Java, con la posibilidad de acceder la base de datos de manera remota, sin embargo, esto no es posible, por lo que se decidió utilizar el lenguaje de programación utilizado en trabajos anteriores.

### Sistemas requeridos

Como se mencionó en el capítulo anterior (sección 5.3) para poder revisar la manufacturabilidad es necesario contar con los programas *modelador de ejes de transmisión* y *modelador de celdas de manufactura*. Cada uno de los modeladores contiene información de diferente tipo, y que debe soportar el software experimental que se desea desarrollar.

El modelador de ejes de transmisión fue desarrollado por Mirón (2002), sin embargo, el modelo del producto que utilizó no es el mismo que se requiere ahora. Como se recordará en el capítulo 4 se incluyeron dos nuevas clases *Documento* y *Versión*, por lo que en este trabajo el autor se ve en la necesidad de realizar nuevamente el software *modelador de ejes de transmisión*.

A continuación se muestra el menú principal de la aplicación *modelador de ejes de transmisión* (Fig. 6.2), para mayor detalle del programa se recomienda ver el Apéndice C.

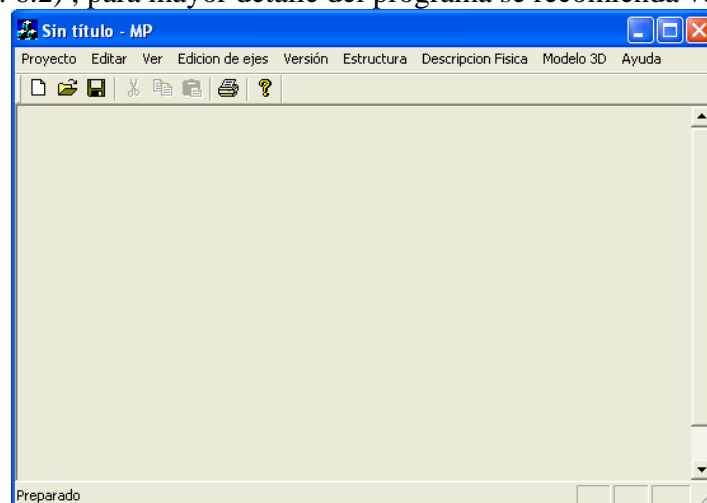


Figura 6.2 Programa desarrollado para modelar ejes de transmisión.

En lo que respecta al *modelador de celdas de manufactura* (Fig. 6.3) fue desarrollado en 2001 (Ayala) y no se presentan cambios en el modelo de manufactura por lo que es posible utilizarlo sin mayores problemas. A continuación se muestra el menú principal de dicho programa.

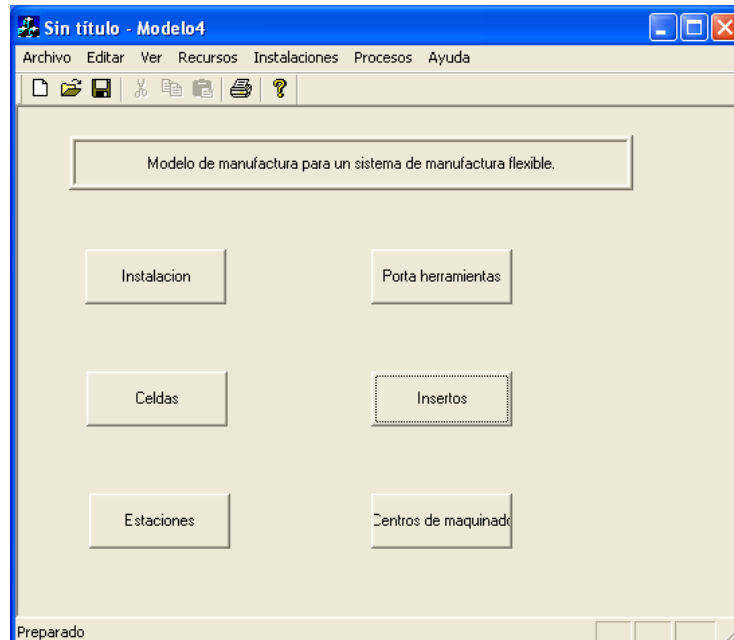


Figura 6.3 Programa desarrollado para modelar celdas de manufactura.

### Desarrollo del sistema

Se demostrará que es posible utilizar los modelos de información para evaluar la manufacturabilidad de productos. El sistema de evaluación de manufactura, que a partir de ahora llamaremos *MDX*, será la aplicación que permita cumplir con el objetivo antes mencionado.

*MDX* inicia con la pantalla mostrada en la figura 6.4. Donde podemos apreciar las opciones del menú principal, en la parte superior.

*Archivo*: este menú proporciona opciones para abrir los MP generados por el modelador de ejes de transmisión y los MM generados por el modelador de celdas de manufactura.

*Componente*: el menú permite seleccionar los ejes existentes en el MP seleccionado anteriormente y que se desean evaluar por el criterio de manufacturabilidad

*Celda*: el menú permite seleccionar las celdas de manufactura que existen en el MM seleccionado anteriormente y ayudará en la evaluación de manufacturabilidad

*Evaluación:* despliega cuatro opciones: *Verifica información preliminar, Factibilidad, Pesos, Manufacturabilidad.* Es en este menú donde se desarrolla el proceso de evaluación de la manufacturabilidad que se mostró en el capítulo 5.

*Verifica información preliminar:* verifica que el producto que se desea evaluar cuente con la información preliminar necesaria para ser evaluado.

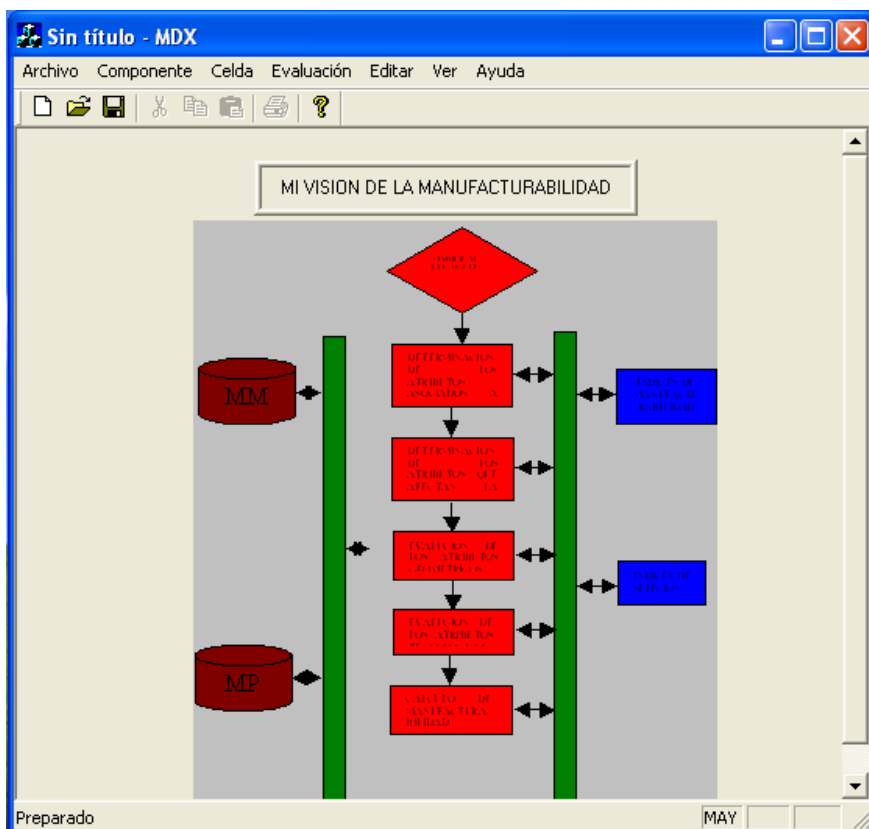
*Factibilidad:* verifica que la celda de manufactura cuente con los recursos necesarios para manufacturar el producto que se desea evaluar.

*Pesos:* se asignan las prioridades de los atributos para ser evaluados.

*Manufacturabilidad:* se muestran los índices de manufacturabilidad de los productos evaluados.

*Editar:* proporciona las herramientas que los programas desarrollados en los sistemas operativos de Windows comúnmente proporcionan, tales como copiar, pegar, etc.

*Ayuda:* muestra una breve descripción del programa, sin ser un manual de usuarios.



**Figura 6.4** Interfaz para evaluar la manufactura DMX.



El proceso de evaluación se inicia al leer los modelos del producto y de manufactura. Se despliega el menú de *Archivo* y se muestran las opciones de *abrir MP* y *MM*. El orden para abrir las bases de datos es indistinto (Fig.6.5 ).

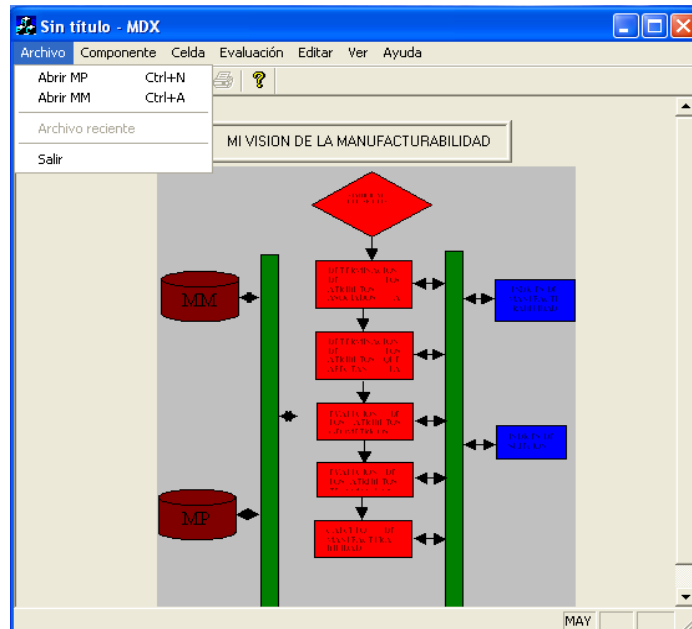


Figura 6.5 Opciones para abrir bases de datos existentes.

Como un medio de comunicación y ayuda para el usuario, existen diálogos que advierten sobre las acciones realizadas (Fig.6.6).

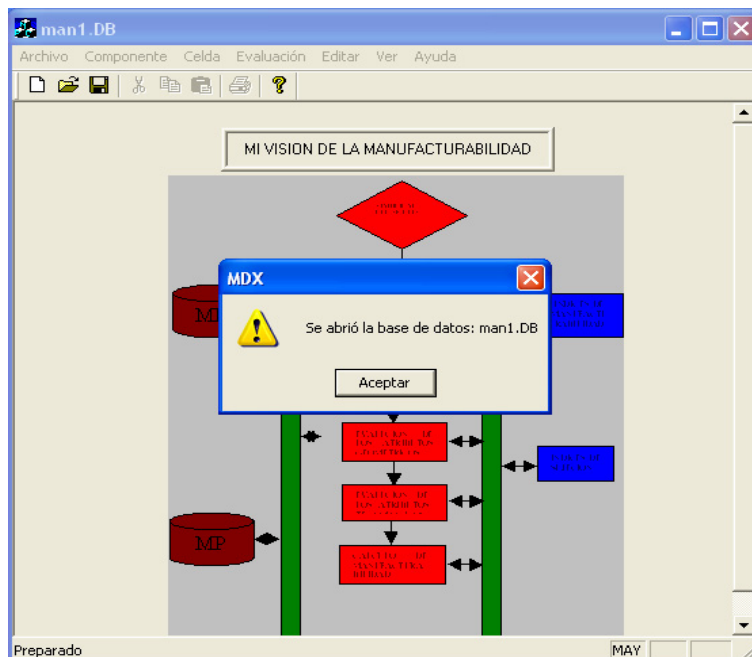


Figura 6.6 Avisos mostrados por DMX.

MDX permite navegar en las diferentes unidades de acceso del equipo de cómputo utilizado (Fig. 6.7).

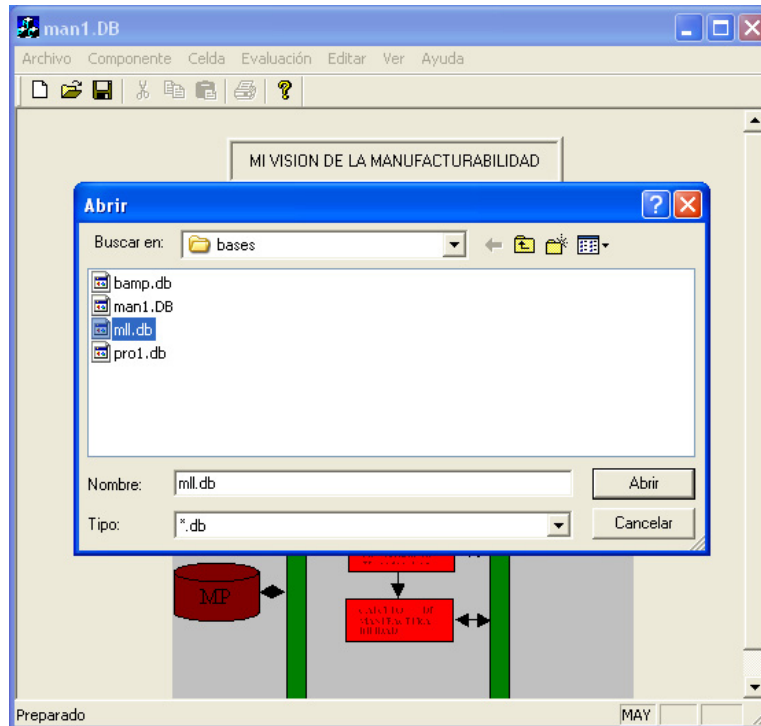


Figura 6.7 MDX es compatible con los sistemas operativos Windows.

Después de abrir las bases de datos requeridas, es posible seleccionar el producto a evaluar con el menú de *Componente*, como se muestra en la figura 6.8.

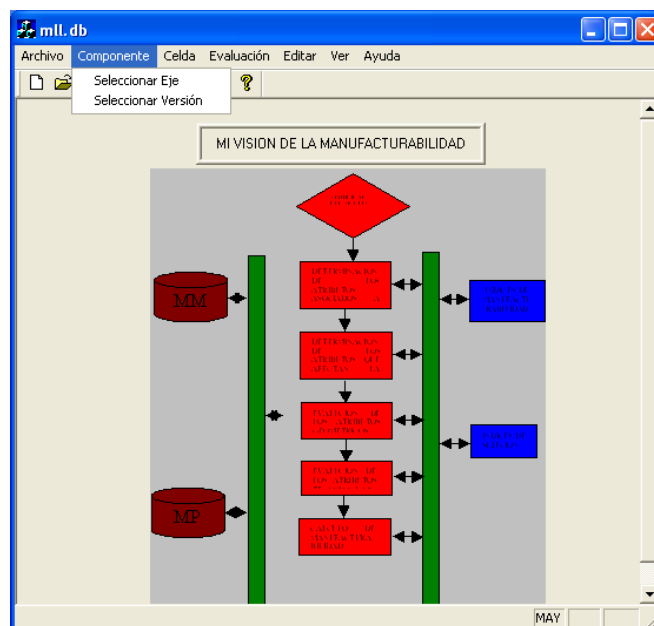


Figura 6.8 Selección del producto a evaluar.

Al *Seleccionar eje* se despliega el diálogo que muestran los ejes existente. En el caso de existir varios productos como se mencionó anteriormente, se despliega una lista con los ejes definidos, permitiendo seleccionar el que se desea evaluar (Fig. 6.9).

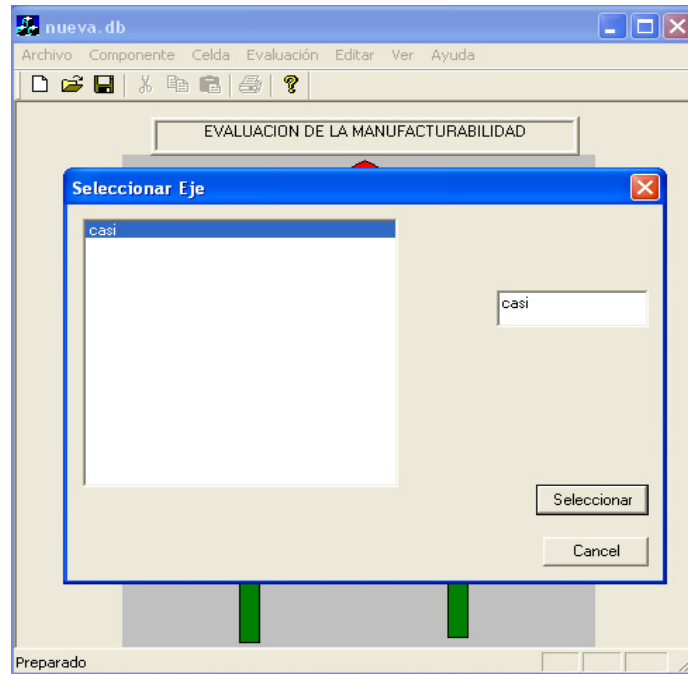


Figura 6.9 Selección y verificación del eje adecuado.

Como sabemos en el diseño se pueden generar diferentes versiones y por lo tanto es necesario seleccionarlas al igual que los ejes. En la figura 6.10 se muestra el diálogo que se despliega al ejecuta el comando *Seleccionar versión*

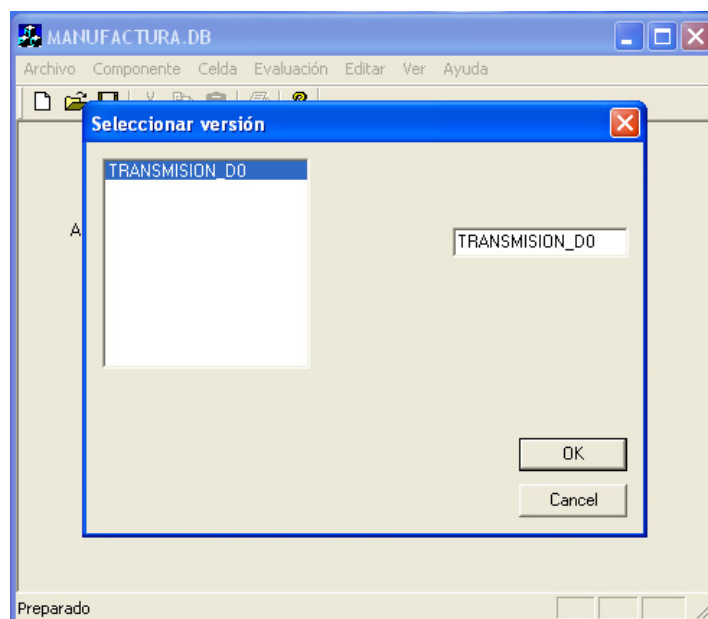


Figura 6.10 Selección y verificación de la selección adecuada.

A continuación, se ejecuta el algoritmo propuesto en el capítulo 5. Se inicia con el menú *Evaluación* y se selecciona *Verifica información preliminar* del producto (Fig. 6.11).

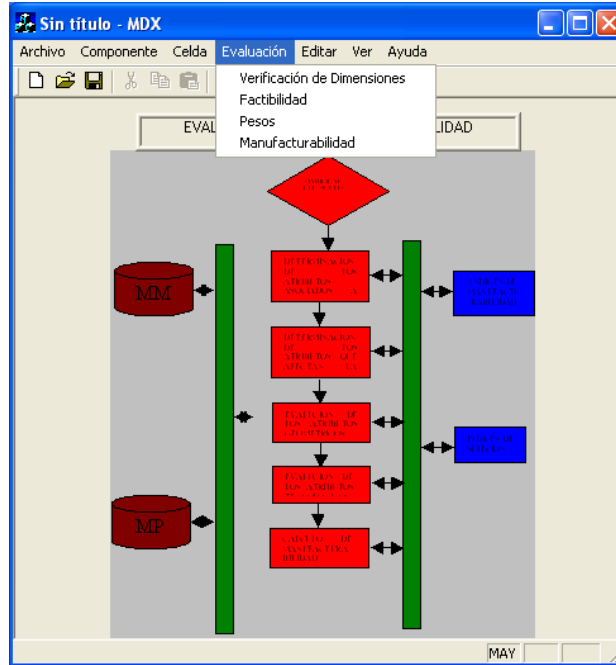


Figura 6.11 Menú de evaluación de la manufacturabilidad.

En el caso de que no se cuente con la información preliminar, MDX lista la información faltante de cada uno de los atributos. Como se muestra en la figura 6.12, el producto se designa con el nombre de TRANSMISIÓN, posición de la característica en el producto (F6, donde F significa característica primaria y f característica secundaria, y 6 es la posición de la característica primaria de izquierda a derecha) y la versión del producto (D0, donde D es el nombre de la versión, y 0 es la versión del diseño) (Fig. 6.12).

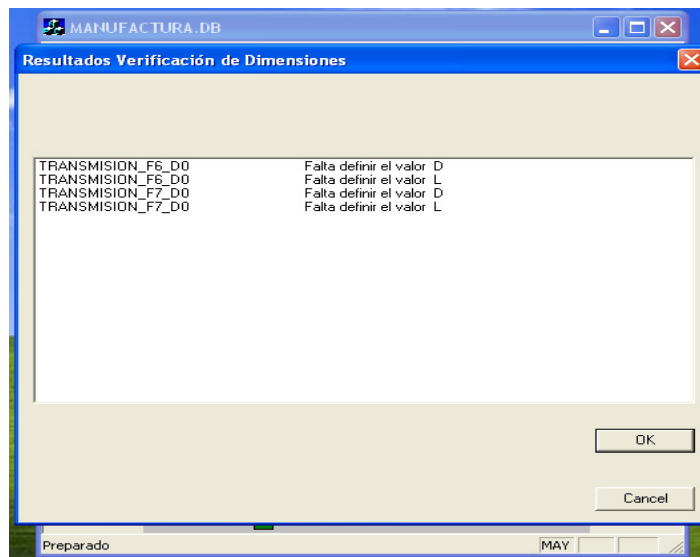


Figura 6.12 Elementos del producto que no cumplen con los requisitos mínimos de información.

Al seleccionar el botón de *Factibilidad* dentro del menú *Evaluación*, se realiza la factibilidad de manufactura, es decir, se verifica la existencia de los procesos y las máquinas en la empresa necesarias para fabricar el producto. Se comparan los requerimientos de manufactura del producto con las características de las instalaciones existentes en la empresa y se emite como resultado la figura 6.13.

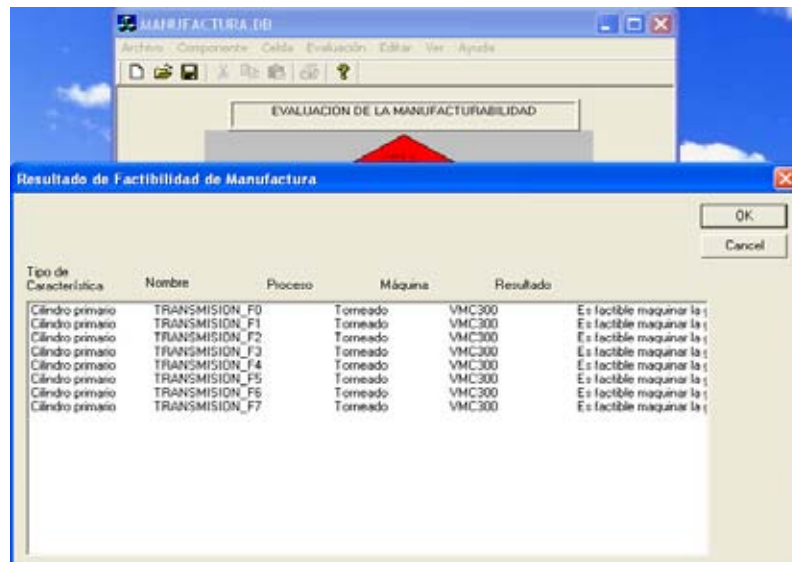


Figura 6.13. Existen instalaciones adecuadas para fabricar el producto.

Para evaluar la manufacturabilidad de manera cuantitativa, se aplica el método AHP, en donde es necesario, que el diseñador elija las prioridades, con las cuales se calcularán los pesos de importancia. Los pesos permiten comparar los productos con respecto a los cuatro criterios propuestos en este trabajo.

En la figura 6.14 se muestra el diálogo que permite recordar al diseñador los valores y los criterios que puede introducir en el arreglo matricial.

También, se muestra cómo el diseñador, desea que la *Orientación* sea el criterio principal de evaluación de manufactura y la *Estandarización* sea considerada como un criterio de menor importancia.

Como se recordará en el capítulo 5.5, se describe que los valores de los criterios son enteros y el complemento de la matriz son los recíprocos de estos valores seleccionados.

El diálogo de la figura, además muestra el botón *Completar* que calcula los recíprocos y los coloca en el lugar adecuado. El botón *Índices* calcula el vector de pesos  $w$  de los atributos geométricos, que no es otra cosa que la importancia que el diseñador le asigna subjetivamente y que con el método AHP podemos obtener una métrica de esa preferencia.

**CRITERIOS DE EVALUACION**

Archivo Componente Celda Evaluación Editor Ver Ayuda

Criterios para asignación de importancia respecto a otros:

A es igualmente de importante, inserta 1  
 A es ligeramente mas importante que B, inserta 3  
 A es más importante que B, inserta 5  
 A es mucho más importante que B, inserta 7  
 A es absolutamente mas importante que B, inserta 9  
 Si se tienen valores de compromiso entre los valores anteriores, inserta 2, 4, 6 u 8.

	Orientación	Accesibilidad	Complejidad	Estandarización
Orientación	1	5	6	7
Accesibilidad	0,2	1	4	6
Complejidad	0,1666	0,25	1	4
Estandarización	0,1428	0,1666	0,25	1

Pesos asociados a las preferencias de importancia, determinadas por el diseñador

Orientación	0,590976	Complejidad	0,115121
Accesibilidad	0,244306	Estandarización	0,0495972

Completar  
 Indices  
 OK

**Figura 6.14 El diseñador elige el criterio principal de evaluación.**

Finalmente, conociendo al vector  $w$  es posible saber la calificación que tendría cada uno de los elementos que forman al producto. Se ejecuta el comando *Manufacturabilidad* y se sustituye el vector  $w$  de pesos en la ecuación (8) de la sección 5.3, dando como resultado la figura 6.15, donde se muestran los índices de manufacturabilidad de los atributos geométricos y dan como resultado en este caso que es posible manufacturar el producto y que el valor obtenido es cercano al valor máximo posible. Lo que muestra que no se deberán tener contratiempos importantes para la manufactura de la piezas, desde el punto de vista del criterio de orientación.

Si se desea cambiar el criterio principal de evaluación es necesario ejecutar el comando de *Pesos* en el menú de evaluación. Y se ejecutarán los comandos anteriores para obtener los índices de manufacturabilidad para cada caso.

Resultados Manufacturabilidad

0

OK

Nombre	Geometría	Orientación	Accesibilidad	Complejidad	Estandarización	Índice
TRANSMISION_F0_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F1_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F2_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F3_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F4_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F5_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F6_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94
TRANSMISION_F7_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.94

**Figura 6.15** Evaluación de la manufacturabilidad.

## **7 CASO DE ESTUDIO**

### **7.1 Introducción**

Para probar que la metodología propuesta por el autor para evaluar la manufacturabilidad, es factible para ser utilizada en cualquier etapa del ciclo de vida del producto, además de probar que los modelos de información soportan la evaluación de la manufactura, se propone un caso de estudio, utilizando como producto a evaluar un eje de transmisión de potencia y una celda de manufactura flexible.

### **7.2 Objetivo**

El propósito del caso de estudio es validar y probar la metodología propuesta, por medio de la simulación de una situación real en la industria. Con base en lo anterior se identifican los siguientes objetivos específicos:

- Probar la aplicación del MP presentado en el capítulo 6, sección 3.
- Evaluar la funcionalidad de la metodología propuesta.
- Evaluar la utilidad y funcionalidad de la herramienta MDX.
- Experimentar con información de un caso real.
- Evaluar exclusivamente la manufacturabilidad desde el punto de los atributos geométricos.

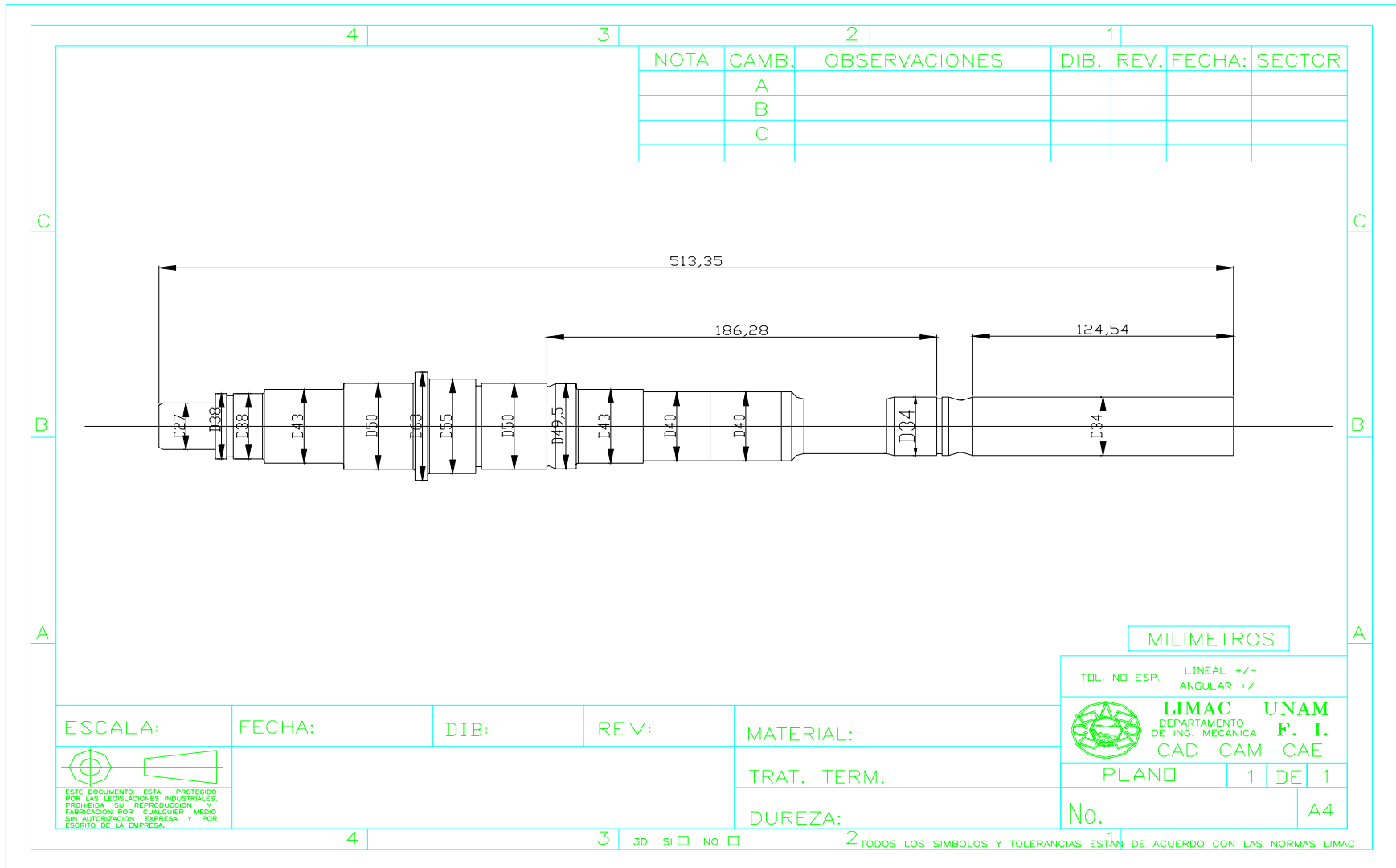
### **7.3 Modelo del producto**

Para seleccionar el caso de estudio se buscó un componente que cumpliera con los siguientes requisitos:

- Componente mecánico fabricado de un sólo material.
- Sección transversal variable y simétrica con respecto al eje longitudinal.
- Requerir de varios procesos y operaciones de manufactura.
- Información disponible del diseño y manufactura.

El elemento elegido es un eje de transmisión de potencia de una caja de transmisión de un colaborador industrial. En la figura 7.1 se muestra el producto para el caso de estudio. Se puede apreciar que algunos de los procesos requeridos para la manufactura son torneado, fresado y rectificado.





**Figura 7. 1 Eje de transmisión propuesto para el caso de estudio**

## 7.4 Modelo de manufactura

El modelo de manufactura que se utilizará en este caso de estudio es la celda de manufactura que se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la UNAM (Fig. 7.1), y que consta de un centro de maquinado vertical VMC-100, un centro de torneado TURN240, cuatro robots Escorbot, un sistema de alimentación por medio de banda, 20 insertos, 20 portainsertos, 10 brocas. Por lo que esta información es lo que se representa en el MM.



Figura 7. 1 Celda de manufactura flexible, de los talleres de ingeniería mecánica.

## 7.5 Evaluación de manufacturabilidad del eje de transmisión

Primero es necesario contar con el modelo del producto denominado *PRODUCTO*, y el modelo de manufactura llamado *MANUFACTURA*. Para realizar lo anterior es necesario ejecutar el programa *MP*, que es la aplicación que permite poblar la base de datos del producto. *Modelo4* es la aplicación que modela los recursos de la fábrica, taller o celda de manufactura donde se desea manufacturar la pieza o producto. Finalmente, se tienen el software experimental para evaluación de manufactura que anteriormente se denominó *DXM*.

En la figura 7.3 se muestra la posibilidad de ejecutar de manera simultánea las tres aplicaciones, lo que permite, además de poblar las bases de datos, evaluar los productos en tiempo real.

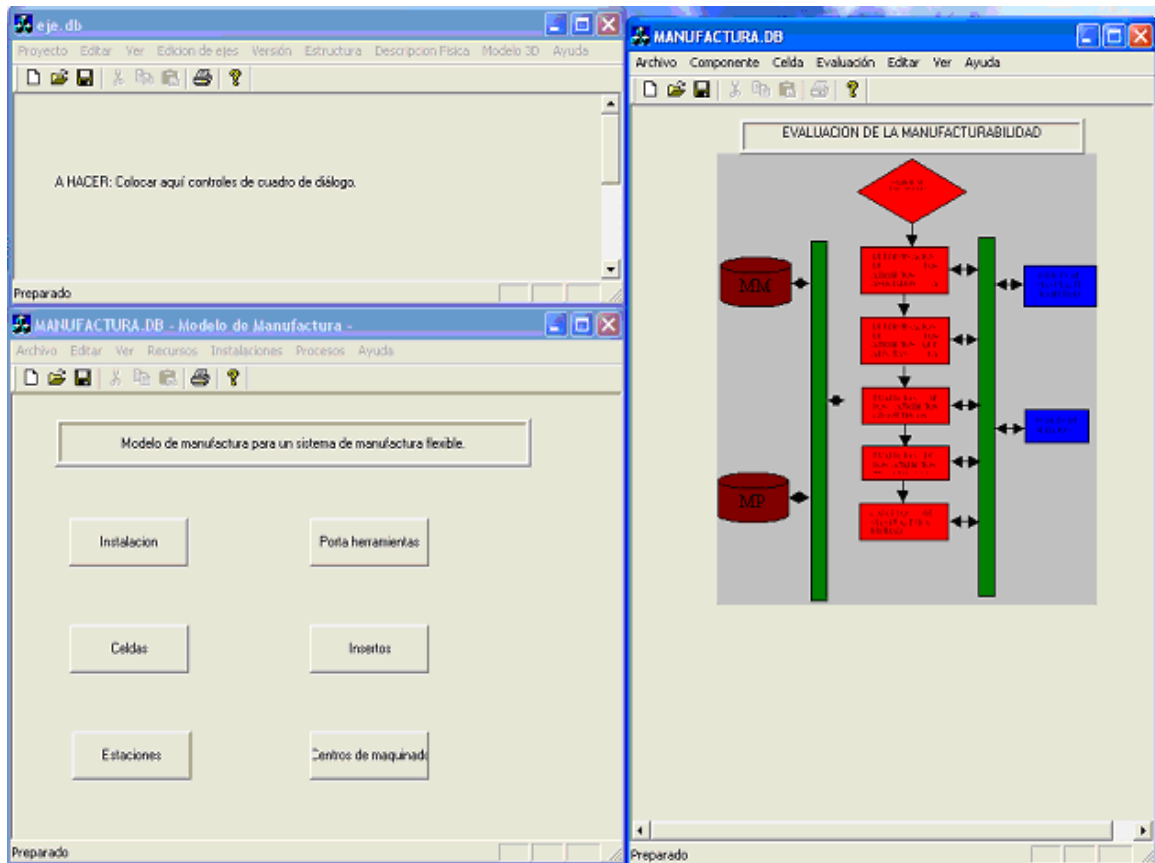


Figura 7.3 Ejecución concurrente de sistemas para la evaluación de manufactura.

En la parte superior derecha de la figura 7.3 se muestra la aplicación que permite poblar la base *PRODUCTO*. El eje como se muestra en la figura 7.1 consta de 14 características primarias de las cuales sólo seis se han modelado, por el momento.

En la figura 7.4 el *componente* que es el eje de transmisión se denomina *FINAL*. Existen varias versiones del eje, en este caso la versión a evaluar se conoce como *FINAL\_D0*.

Se listan las características primarias y secundarias definidas. Las características primarias se denotan con el nombre del eje y la posición secuencial en el eje *FINAL\_F1* y las características secundarias asociadas a las características primarias se denotan con el nombre del eje, la posición secuencial en el eje y la posición de la característica *FINAL\_F2\_f0*.

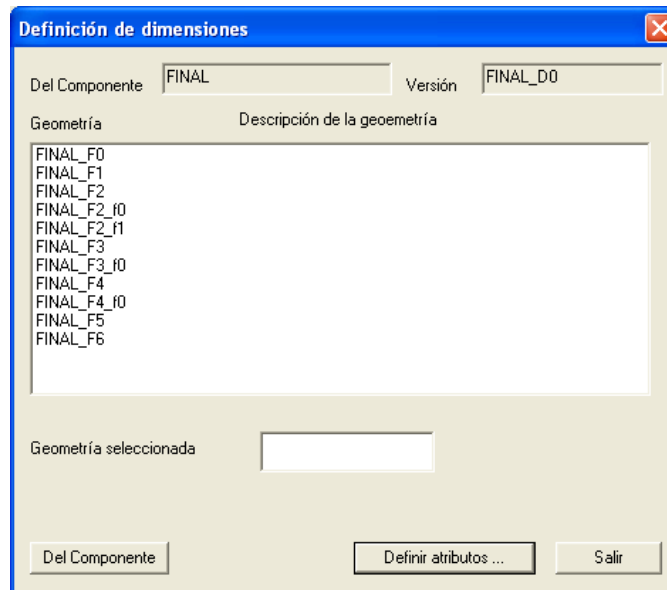


Figura 7.4 Lista de características existente en la modelo del producto.

De estas secciones, sólo algunas tienen definidos los atributos geométricas, en la figura 7.5 se muestran la pantalla, donde se capturan atributos geométricas de la característica secundaria *FINAL\_F0*.

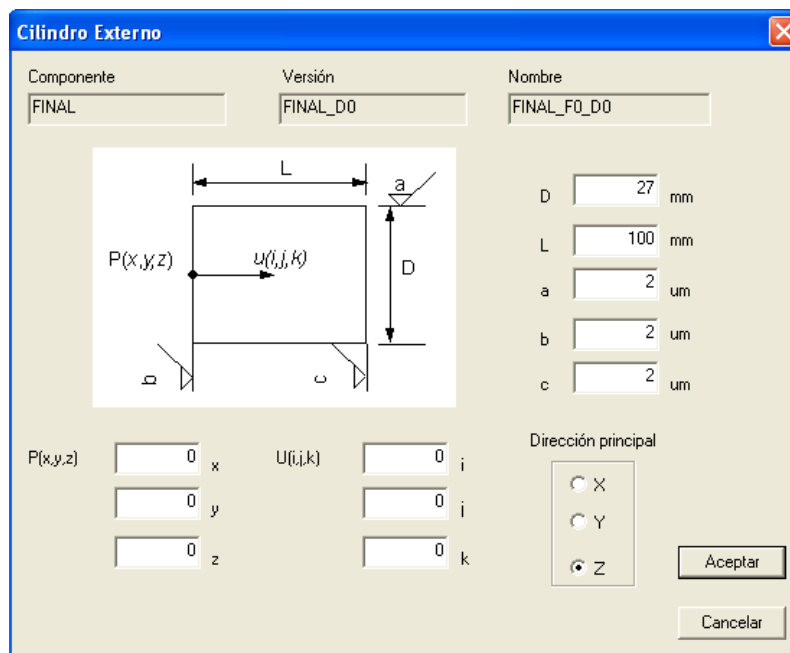


Figura 7.5 Definición de atributos del *cilindro* en el sistema modelador de ejes de transmisión.

Con el visor se puede observar la información que se encuentra contenida en la base de datos. Se aprecia que la versión activa es *FINAL\_D0*, la clase a la que pertenecen las características primarias (*cilindro*) y secundarias (*filete*, *chaflán*). También, el *nombre de la entidad* que se les asoció para este caso de estudio (Fig. 7.6). Con lo que se demuestra que la información está contenida en el modelo del producto.

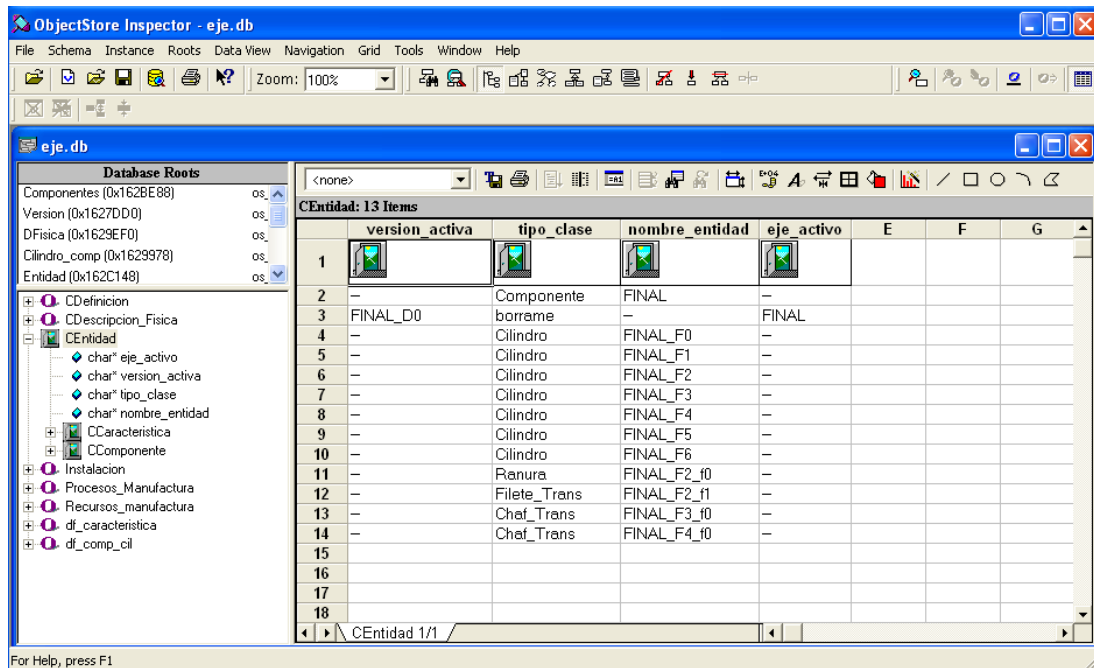


Figura 7.6 Lista de características existente en la modelo del producto.

Para demostrar que la información que se encuentra en el modelo del producto es confiable, segura y consistente, el eje de transmisión, contenido en el modelo del producto se mostrará utilizando sólidos geométricos.

Recordando el modelo de SADET (Fig. 6.1), existe la aplicación llamada *Modelador de Sólidos* (Colin, 2005) la cual se desarrolló utilizando el lenguaje de programación Adaptive Modeling Language (AML), este sistema utiliza la geometría y los atributos contenidos en el modelo del producto (Fig. 7.7) y lo representa como elementos de revolución sólidos (Fig. 7.8).

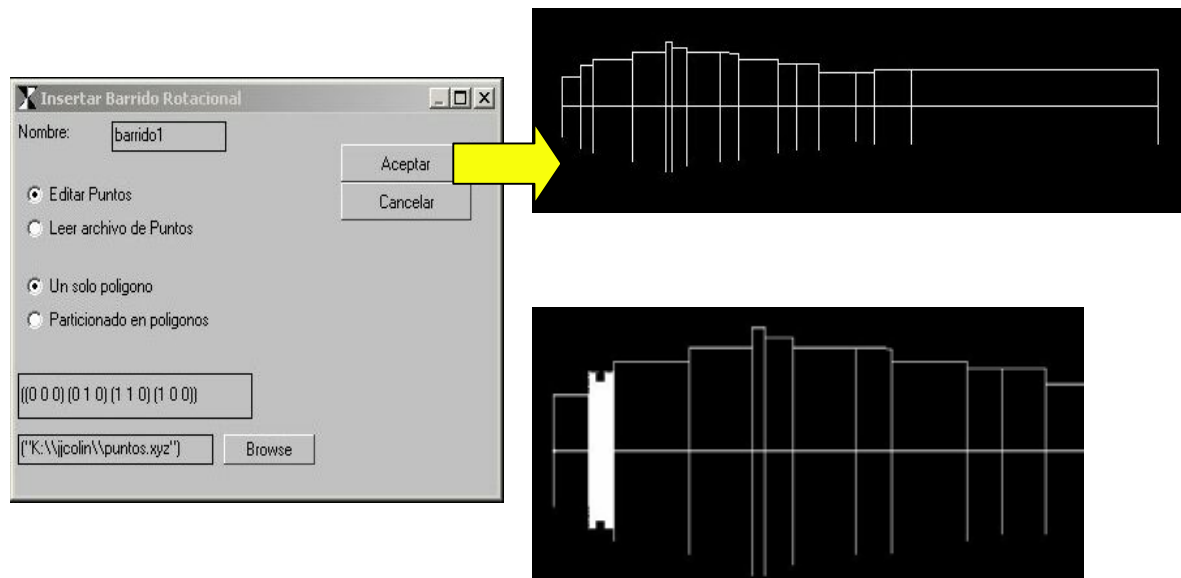


Figura 7.7 Importando la definición de atributos en el sistema modelador de sólidos.

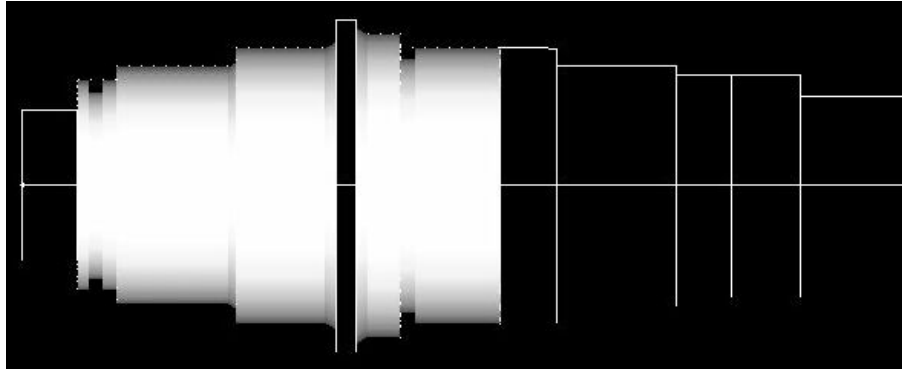


Figura 7.8 Representación de la geometría y topología en elementos sólidos.

En el caso de realizar algún cambio, el sistema exporta la información modificada al modelo de información (Fig.7.9).

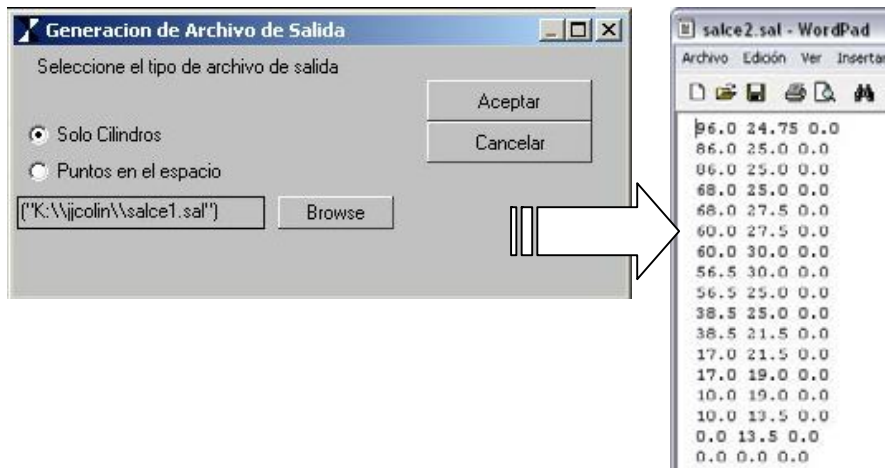


Figura 7.9 Exportando características primarias al modelo del producto.

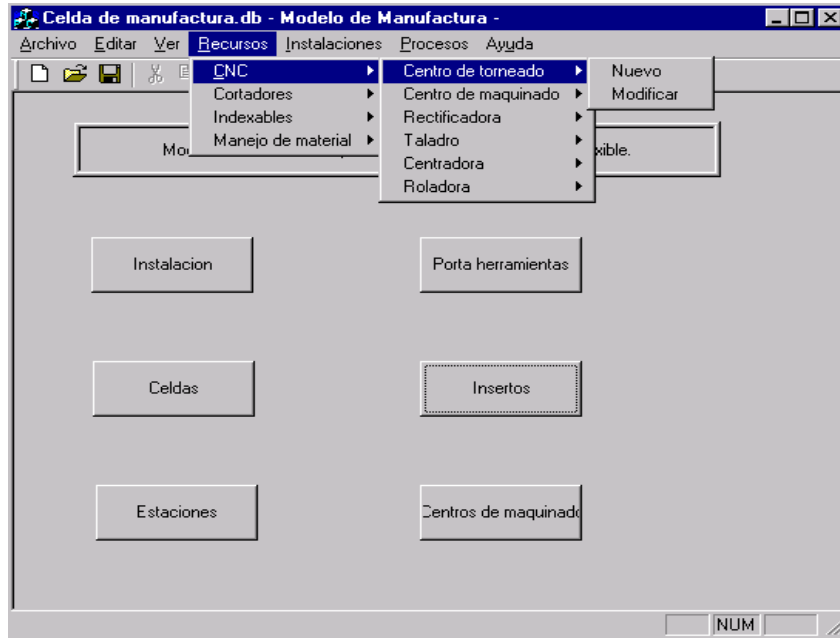
Con lo anterior se comprobó que la información aunque preliminar es suficiente para representar ejes de transmisión sólidos, ya que como se menciona arriba sólo se modelaron seis características primarias y cuatro secundarias. La información es consistente y confiable.

Continuado con el caso de estudio, para generar el modelo de manufactura se utiliza la aplicación que se encuentra en la esquina inferior izquierda de la figura 7.3. Se inicia con la creación de objetos de la clase genérica *Máquinas\_Herramientas* se selecciona la opción CNC, la cual despliega un submenú que permite crear o modificar (Fig.7.10).

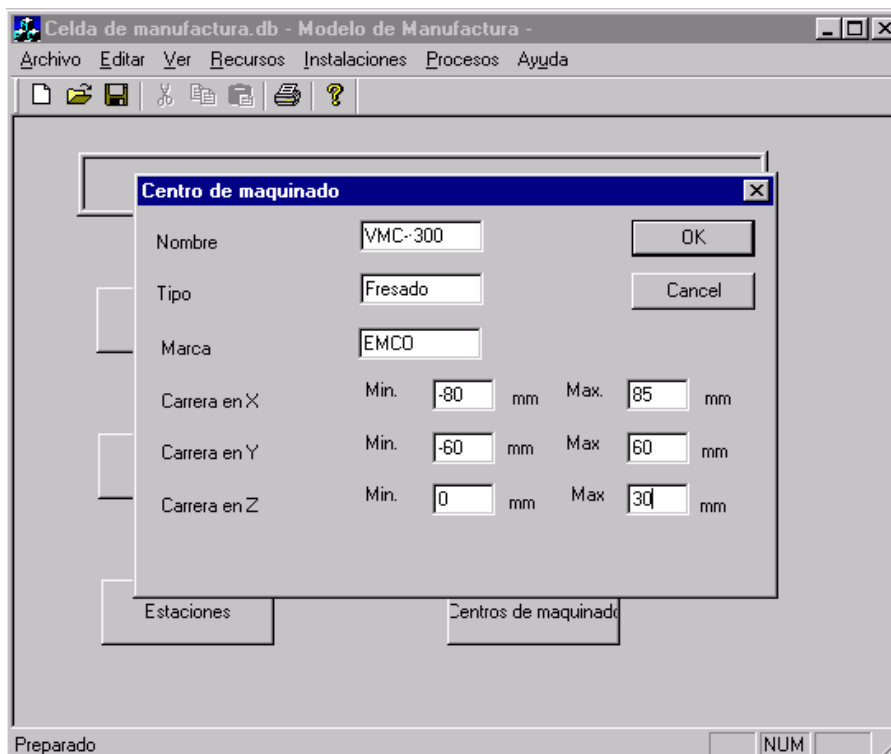
En este caso la opción a seleccionar es *Crear* y ésta despliega un menú que permite capturar los atributos de los objetos. En la Figura 7.11 se muestran los atributos de un objeto llamado VMC-300 de la marca EMCO y que pertenece a la clase *Centro\_maquinado*.

Si se desea modificar un objeto se selecciona la opción Modificar en el menú de la figura 7.10 y se despliega el diálogo de la figura 7.12, en donde se presenta una lista de los objetos existentes y cinco botones para la edición de la máquinas herramientas CNC.

Para realizar las modificaciones primero se selecciona con el ratón el objeto deseado y con el botón Editar se muestran los atributos del objeto seleccionado. En este momento es posible capturar nuevos datos. Para que los cambios sean permanentes, se selecciona el botón Modificar y el botón Aceptar. Si lo que se desea es borrar un objeto entonces se selecciona el botón Borrar.



**Figura 7. 10** Submenú para crear o modificar instancias de la clase genérica *Máquinas\_herramientas*.



**Figura 7. 11** Creación de la instancia VMC-300 de la clase *Fresado*.

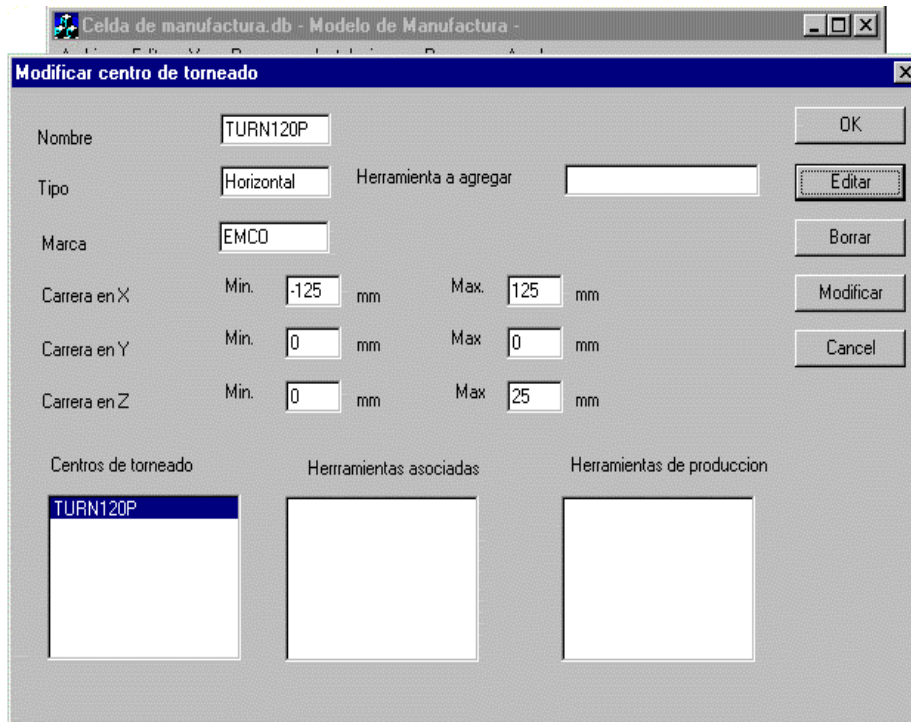


Figura 7. 12 Diálogo para modificar objetos.

Contando con los modelos de información que se desean evaluar, se inicia el proceso de evaluación de manufactura. Como primer paso se realiza la verificación de la información preliminar. Se selecciona el botón de *Factibilidad* dentro del menú *Evaluación*. En la figura 7.13 se muestra que las secciones *FINAL\_F2* hasta *FINAL\_F4* no cumplen con el requerimiento de información preliminar, y el programa identifica el tipo de elemento de diseño que se utilizo, por ejemplo *Ranura*, *Filete*, etc.

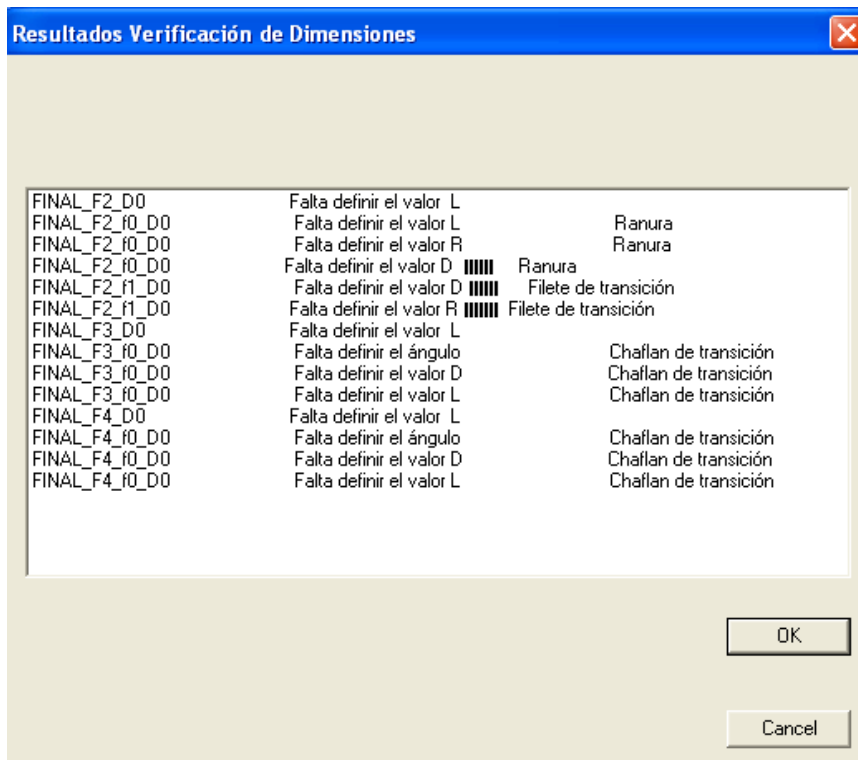


Figura 7.13 Lista de resultados de la verificación de la información del MP.



Al seleccionar el botón de *Factibilidad* dentro del menú *Evaluación*, se realiza la factibilidad de manufactura. El resultado se muestra en la figura 7.14, e indica que la geometría propuesta por el diseñador es factible de fabricar, además de que es posible realizarlo en la fábrica que se selecciona anteriormente (sección 5.3). También se muestran como información adicional que proceso de manufactura y máquina se puede utilizar para fabricar las secciones o características.

Tipo de Característica	Nombre	Proceso	Máquina	Resultado
Cilindro primario	FINAL_F0	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F1	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F2	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F3	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F4	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F5	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría
Cilindro primario	FINAL_F6	Torneado	VMC300	Es factible maquinar la geometría

Figura 7.14 Lista de resultados de la verificación de la información del MM.

Para realizar la evaluación de manufactura, es necesario atender a las recomendaciones que se muestran en la figura 7.15 Así que considerando que ya se realizan en este momento, se inicia la evaluación con la asignación de criterio. Para este caso el diseñador considera que *Orientación* es 0,661455 más importante que los demás atributos y que *Estandarización* es 0,0421853 más importante que los demás atributos. En otras palabras, el vector de prioridades, muestra que *Orientación* es el atributo que guiará la evaluación de la manufactura como el más importante.

CRITERIOS DE EVALUACION

Archivo Componente Celda Evaluación Editar Ver Ayuda

Criterios para asignación de importancia respecto a otros:

A es igualmente de importante, inserta 1  
A es ligeramente mas importante que B, inserta 3 B  
A es más importante que A, inserta 5  
A es mucho más importante que B, inserta 7  
A es absolutamente mas importante que B, inserta 9  
Si se tienen valores de compromiso entre los valores anteriores, inserta 2, 4, 6 u 8.

	Orientación	Accesibilidad	Complejidad	Estandarización
Orientación	1	7	9	9
Accesibilidad	0,1428	1	4	6
Complejidad	0,1111	0,25	1	4
Estandarización	0,1111	0,1666	0,25	1

Pesos asociados a las preferencias de importancia, determinadas por el diseñador

Orientación: 0,661455      Complejidad: 0,0953184  
Accesibilidad: 0,201041      Estandarización: 0,0421853

Figura 7.15 Cálculo de los pesos para los atributos geométricos.

Al ejecutar el comando *Manufacturabilidad* se ejecuta el proceso del método AHP, para determinar los índices de manufacturabilidad (sección 5.3) . En la figura 7.16 se muestra la calificación de las secciones y los elementos asociados a ellas. Como se recordará el diseñador consideró que el criterio principal de evaluación para el eje de transmisión en este análisis preliminar es *Orientación*. Con base en lo anterior se puede leer que *cilindro primario* tiene una calificación de 0.93 lo que nos dice que la probabilidad de que se tengan problemas para manufacturar es realmente alta. Sin embargo los chaflanes son mucho más complicados para manufacturar ya que la calificación que obtienen es de 0.18. Al *revisar* las calificaciones de los atributos, se observa que la calificación más baja es en *Orientación* y además el criterio del diseñador lleva a que el chaflán sea casi imposible de manufacturar. Con estos resultados el diseñador puede optar por cambiar los valores o la posición del chaflán o los criterios de evaluación y verificar nuevamente la manufacturabilidad.

Nombre	Geometría	Orientación	Accesibilidad	Complejidad	Estandarización	Índice
Chaflan	.90	81.90	.90	.90	.18	
Chaflan	.90	81.90	.90	.90	.18	
Filete	.90	.90	.90	.36	.7	
FINAL_F0_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.93
FINAL_F2_D0	Cilindro primario	.90	.90	.00	.72	.84
FINAL_F2_I0_D0	Ranura	.90	.90	.90	.00	.00
FINAL_F3_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.93
FINAL_F4_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.93
FINAL_F5_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.93
FINAL_F6_D0	Cilindro primario	.90	.90	.90	.72	.93

**Figura 7.16 Índices de manufacturabilidad de los atributos preliminares del eje.**

El caso mostrado prueba que es posible utilizar los modelos de información para evaluar la manufacturabilidad, que el algoritmo para la evaluación de la manufacturabilidad es funcional y que la evaluación se puede realizar en tiempo real.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó investigación en sistemas basados en modelos de información. En particular se emplearon los modelos para asistir actividades concernientes al diseño para manufactura de partes mecánicas.

Para lograr lo anterior se presenta la definición del proceso de desarrollo de productos, la cual es la base para identificar la información requerida, para seleccionar los modelos de información que soportan la información preliminar de manufactura.

Se estudiaron diferentes modelos de manufactura y del producto para soportar la evaluación de la manufacturabilidad. Considerando, que es en las primeras etapas del diseño donde se desea evaluar la manufacturabilidad, se concluyó que el modelo del producto propuesto por Morano (2003), contiene la información preliminar de manufactura, además, de que el modelo del producto es genérico, representa piezas de revolución y piezas prismáticas.

En lo que respecta al modelo de manufactura se considero el de Ayala (2001) debido a que permite modelar proceso de manufactura de arranque de viruta y de conformado.

Se propone considerar el ciclo de vida de documentos (Remko, 2000) en conjunto con los modelos del producto y de manufactura, ya que no se había considerado hasta el momento. Se define para el presente trabajo el concepto de documentos preliminares. Estos documentos contienen la información que describe el producto en los diferentes estados de evolución,

Para integrar los modelos de información el concepto de documentos preliminares, se propone un nuevo modelo del producto y de manufactura. Incluyendo la clase *Documento*, a cada uno de los modelos de información, con el fin de darle seguimiento en el tiempo a los productos y proyectos de diseño.

Para asistir las actividades de diseño desde el punto de vista de manufactura, el autor propuso una metodología original para evaluar de manera cuantitativa, la facilidad de manufactura de productos, en cualquier etapa del proceso de diseño, de tal manera que es posible realizar diseño para la manufactura en el contexto de ingeniería concurrente.

Para evaluar la manufacturabilidad el autor propone siete atributos de los cuales dos son tomadas de la literatura y cinco son propuestos por el autor.

Además, se exploró la factibilidad del proceso de evaluación de la manufactura con la asistencia de los modelos del producto y de manufactura. Se realizó un software experimental denominado DMX, el cual permite interactuar con los modelos de información y realizar una evaluación cuantitativa de la manufacturabilidad de partes producidas por procesos de arranque de viruta. También se muestra la arquitectura general del sistema CAE, en la cual se integra el programa DMX.

Los resultados obtenidos de DMX permiten saber: si el documento preliminar cuenta con la información mínima necesaria para realizar la evaluación, evaluar la manufacturabilidad mediante criterios de prioridad que el diseñador puede cambiar, obtener una calificación de cada elemento que compone a la pieza, de esa manera es

posible detectar con mayor facilidad los puntos críticos de diseño, y esto puede ser en las etapas iniciales de diseño o en la etapa de planeación de la producción.

## REFERENCIAS

### A

1. Agbasi E, Anumba C., Gibb A., Kalian A. and Watson A., Cladding sector road map for realising the CIM vision, *Industrial Management & Data Systems* Volume 104 · Number , 2004, pp. 526-532
2. Alam M. R., Lee K. S., Rahman M. and Zhang Y. F., Process planning optimization for the manufacture of injection moulds using a genetic algorithm, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2003, VOL. 16, NO. 3, 181-191.
3. Al-Fawzan M.A., An algorithm for production planning in a flexible production system, *Computers & Industrial Engineering* 48 (2005) 681–691.
4. Anuar A. and Atkinson J., A software system for specifying design procedures, *J. Eng. Design*, 2000, Vol. 11, NO. 3, 191–210.
5. Appleton E. and Garside J.A., A team-based design for assembly methodology, *Assembly Automation* Volume 20 . Number 2, 2000 . pp. 162-169
6. Ávila R. M. Mogollón, El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras, el caso de Brasil, proyecto regional "Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible" (proyecto gcp/rla/126/jpn) Santiago, Chile, diciembre 2000.
7. American National Standards Institute, Inc., Dimension and Tolerance, ANSI Y14.5M-1982, ASME, NY, 1982.
8. Ayala R. A., Modelado de Manufactura de una Celda de Producción, tesis maestría, FI, UNAM, 2001.

### B

9. Barton J. A., Love D. M. and Taylor G. D., Design determines 70% of cost? A review of implications for design evaluation, *J. Eng. Design*, 2001, VOL. 12, No. 1, 47–58
10. Burgess T. F. Making the Leap to Agility: Defining and Achieving Agile Manufacturing through Business Process Redesign and Business Network Redesign, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 14 No. 11, 1994, pp. 23-34.
11. Booch G., Object-oriented analysis and design with applications, Menlo Park, California, Addison-Wesley, 1994.
12. Borja R. V., The use of data models to redesign for manufacturing: the turning agent, *International conference on engineering design ICED99*, Munich, august 24-26 1999.
13. Borja R. V., Ayala A. Modelo de una Máquina de CNC, *Memorias del XXI Congreso Internacional de Electrónica del ITCH, ELECTRO*, 1999.
14. Borja, V. Redesign Supported by Data Models with Particular Reference to Reverse Engineering, PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1997.
15. Borja V., López, M. Valeriano, G., González, L., Santillán, S., Bell, R. Diseño para manufactura asistido por computadora: el Agente para Torneado, *Memorias del II Congreso de la Sociedad de Mexicana de Ingenieros Mecánicos, SOMIM*, 1997.
16. Borja V., R. Bell, López M., S. Santillán, L. González, Estado del arte y tendencias futuras en ingeniería inversa, *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*, Vol. I-No2, 1999.
17. Bloor M. S, de Pennington A., Harris S. B., Holdsworth D., McKayand A, Shaw N.K., Towards integrated design and man ufacturing, *Factory 2000*, Cambridge, Sept. 1988, pp. 21-9

18. Bongaerts L., Jordan P., Timmermans P., Valckenaers P., Wyns J., Evolutionary development in shop floor control, *Computers in Industry* 33 (1997) 295-304.
19. Boothroyd,G. and Dewhurst,P.,1987, *Product Design for Assembly Handbook*, Wakefield, Rhode Island: Boothroyd-Dewhurst Inc.
20. Boothroyd G. and Dewhurst P., *Product design for manufacture and assembly*, Society of Manufacturing Engineers from *Manufacturing Engineering*, April 1988, pp. 42-46
21. Bralla JG. *Design for manufacturability handbook*. New York: McGraw Hill,1998.
22. Brown A. D., Hale P. R. and Parnaby J., An integrated approach to quality engineering in support of design for manufacture, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 1989, PartD, No. DI, pp. 55--64
23. Boothroyd,G., Dewhurst,P., Winston Knight, 1994, *Product Design for Manufacture and Assembly*, Marcel Dekker, Inc.
24. Boothroyd G., and Dewhurst P., *Product design for manufacture and assembly*/, Peter t, Winston Kni, 2nd ed., New York : M. Dekker, c2002.
25. Bramall D. G., Mckay K. R., Rogers B. Chapman C., P., Cheung W. M. and Maropoulos P. G. *Manufacturability analysis of early product designs*, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2003, Vol. 16, No. 7–8, 501–508.
26. Browne, J., Sackett, P.J. and Wortmann, J.C., "The System of Manufacturing: A prospective study", *European Commission Directorate General XII* , 1992 Commissioned reporto.
27. Brinke E. Ten, Lutters E., Streppel T. and Kals H., *Cost estimation architecture for integrated cost control based on information management*, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, September 2004, VOL. 17, NO. 6, 534–545

## C

28. Caillaud E. and Passemar C., *CIM and virtual enterprises: a case study in a SME*, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2001, VOL. 14, NO. 2, 168–174.
29. Camarinha-Matos L. M., Afsarmanesh H. And Rabelo R. J. *Infrastructure Developments For Agile Virtual Enterprises*, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2003, Vol. 16, No. 4–5, 235–254.
30. Corbett J., *How design can boost profit*, Cranfield Institute of Technology, Eureka Transfers Technology, May 1987, pp. 59-65.
31. Culley S. J., Boston P. O. and McMahan A. C, *Suppliers in New Product Development: Their Information and Integration*, *Journal of Engineering Design*, Vol. 10, No. 1, 1999.
32. Corbett J, Dooner M., Meleka J, Pyr C., *Design for manufacture, Strategies, Principles and Techniques*, Addison-Wesley Publishing Company, Gran Bretaña, 1991.
33. Canciglieri, O.J. and Young, R.I.M., *A Multi-Viewpoint reasoning System in Design for Injection Moulding*, *CIRP*, pp 21-26, 1997.
34. Canciglieri J., O. *Product Model Based Translation Mechanics to Support Multiple viewpoints in the Design for Manufacture of Injection Moulded Products*. PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1999.
35. Chang T-C., *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley, 1990, USA.

36. Chan F. T. S. The effects of routing flexibility on a flexible manufacturing system, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2001, VOL. 14, NO. 5, 431–445.
37. Craig, L. *Applying UML and patterns: an introduction to object-oriented analysis and design*. Prentice Hall PTR. ISBN 0137488807, 1997.
38. Chen L, Pu J, Wang X, A general model for machinable feature and its application to machinability evaluation of mechanical parts, *Computer Aided Design* 34, pp. 239-249, 2002.
39. Chen Kun-Hur, Chen Shi-Jie (Gary), Lin Li and S. Wesley Changchien, An integrated graphical user interface (GUI) for concurrent engineering design of mechanical parts, *Computer Integrated Manufacturing System* Vol. 11, No. 1-2, pp 91-112, 1998.
40. Chen David and Vernadat Francois, Standards on enterprise integration and engineering—state of the art *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, April–May 2004, VOL. 17, NO. 3, 235–253
41. Chincholkar Mandar M., Herrmann Jeffrey W., Wei Yu-Feng, *Applying Design For Production Methods For Improved Product Development*, DETC2003/DFM-48133, Proceedings of DETC'03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Chicago, Illinois USA, September 2-6, 2003.
42. Chui W. H. and Wright P K., A WWW Computer Integrated Manufacturing Environment For Rapid Prototyping and Educationist., *J. Computer Integrated Manufacturing*, 1999, Vol. 12, No. 1, 54 - 60.
43. Chung Walter W. C. and Chik Stanley K. O., *Computerization Strategy For Small Manufacturing Enterprises In Hong Kongint.*, *J. Computer Integrated Manufacturing*, 2001, Vol. 14, No. 2, 141–153.
44. Cloutier Louis, Frayret Jean-Marc, D'amours Sophie, Espinasse Bernard and Montreuil Benoît T, A Commitment-Oriented Framework For Networked Manufacturing Co-Ordination. *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 2001, Vol. 14, No. 6, 522–534

## D

45. Das S. K. And Gami S., Expert Rules For Manufacturability Analysis of Misalignment Defects During Product Design *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, January–February 2004, Vol. 17, No. 1, 58–68.
46. Dereli T. and Filiz I. H., A Design for Manufacturing' system for elimination of critical feature interactions on prismatic parts, *J. ENG. DESIGN*, 2002, YOL.13, NO. 2, 141-157.
47. Dickerhof Markus, Didic Milena M., Mampel Ulrich, Workflow and CIMOSA—background and case study, *Computers in Industry* 40\_1999.197–205.
48. Devireddy Chandra R. and Ghosh Kalyan, Feature-Based Modelling And Neural Networks-Based Capp For Integrated Manufacturing., *J. Computer Integrated manufacturing*, 1999, Vol. 12, No. 1, 61 ± 74.
49. Deshayes L., Dartigues C., Ghodous P. and Rigal J. F., Collaborative System for Cutting Data Management Based on STEP Standard, *CONCURRENT ENGINEERING: Research and Applications*, Volume 11 Number 1 March 2003.
50. Dieter G. E., *Engineering Design*, 3 Ed., Mcgraw-Hill, 2000.

## E

51. Eriksson H.E, Penker M., *UML toolkit / Hans-Erik*, New York : Wiley, 1998.

52. Esche S. K., Chassapis C. and Manoochehri S., Concurrent Product and Process Design in Hot Forging, Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 9 Number 1 March 2001.
53. Espinosa-Bautista, A. and Young, R.I., "The Use and Representation of Design Intent to Support Engineering Designer" , Proceedings of the EDC Conference, "Computer Based Design" , Professional Engineering Publishing Ltd , London, UK, 2002, pp 447-456, ISBN 186058-3725

## **. F**

54. Fujii Susumu , Kaiharaz Toshiya and Morita Hiroshi, A distributed virtual factory in agile manufacturing environment, INT. J. PROD. RES., 2000, VOL. 38, NO. 17, 4113-4128.
55. Fabricius Fin, A Seven Step Procedure for Design for Manufacture, World Class Design to Manufacture, Vol. 1 No. 2, 1994, pp. 23-30.
56. Flores C., A., Rediseño para desensamble de una bomba tipo estrella considerando su ciclo de vida, tesis maestría, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2001.

## **G**

57. Gebresenbet T., Jain P. K. and Jain S. C., INT.J. Preliminary manufacturability analysis using feature-function -resource considerations for cylindrical machined parts, Computer Integrated Manufacturing, 2002, VOL. 15, NO. 4, 361-378.
58. Guetari R. and Nguyen G. T., The 3DOM object Model For The Design Of Manufacturing Systems, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 1997, Vol. 10, No. 1-4, 51-60.
59. Gill H., Design for manufacture-a case study, American Society of Mechanical Engineers from Proceedings of the International Conference on Engineering Design, held in Boston, MA, August 1987.
60. Gu Z., Zhang Y.F and Nee A.Y.C., Identification of important features for machining operations sequence generation, int.j.prod.res.,1997,vol.35,no.8,2285-2307.
61. Guisinger A. and Ghorashi B. , Agile manufacturing practices in he specialty chemical industry An overview of the trends and results of a specific case study, International Journal of Operations & Production Management Vol. 24 No. 6, 2004 pp. 625-635.
62. Gardoni M., Spadoni M. and F. Vernadat Harnessing, Non-Structured Information and Knowledge and Know-How Capitalization in Integrated Engineering: Case Study at Aerospatiale Matra, Concurrent Engineering: Research and Applications Volume 8 Number 4 December 2000.
63. Gunasekaran A., Agile manufacturing: A framework for research and development, Int. J. Production Economics 62 (1999) 87-105.
64. Gunasekaran A ., Implementation Of Computer-Integrated Manufacturing: A Survey Of Integration and Adaptability Issues, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 1997, Vol. 10, No. 1-4, 266± 280.
65. Gunasekaran A., Next Generation Computer-Integrated Manufacturing Strategies And Techniques, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2001, Vol. 14, No. 2, 137–139.
66. Graham Simon Rapid prototyping: a key to fast tracking design to manufacture, Assembly Automation, Volume 20 . Number 4 . 2000 . pp. 291-294.
67. Green G., Towards integrated design evaluation: validation of models, J. Eng. Design, 2000, VOL. 11, NO. 2, 121–132.



68. Groover P. M., Fundamentos de manufactura moderna, Pearson Educación, México, 1997.
69. Gupta, k. S., Systematic approach to analysing the manufacturability of machined parts, Computer Aided Design, Vol. 27, No. 5, pp. 323-342,1995.

## H

70. Hamid R. Parsaei and William G. Sullivan Concurrent engineering : contemporary issues and modern design tools, London ; New York : Chapman & Hall, 1993
71. Halevi G. and Roland D., Principles of process planning : a logical approach , Weill, London; New York : Chapman & Hall, 1995.
72. Harding J. A. And Popplewell K., Enterprise Design Information: The Key to Improved Competitive Advantaging., J. Computer Integrated Manufacturing, 2001, Vol. 14, No. 6, 514–521.
73. Hassan N., Ihlenfeldt F., M. Kromker and Thoben K.-D., Methods For The Improvement Of The Ship Predesign Considering Quality Management, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 1998, Vol. 11, No. 1, 34-44.
74. Huang Chun-Che, A Multi-agent Approach to Collaborative Design of Modular Products, Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 12 Number 1 March 2004.
75. Hu J., Liu J. and Prasad B., Constraint-driven Execution Plan for Maximizing Concurrency in Product Development, Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 11 Number 4 December 2003.
76. Huang Chun-Che, A Multi-agent Approach to Collaborative Design of Modular Products, Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 12 Number 1 March 2004.
77. Hodgson B. A. And Pitts G., Designing for CNC manufacture, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1989, Vol. 203, pp. 39-45
78. Hon B., Development of Concurrent Engineering in the USA, SERC/MechE. Annual Expert Meeting, Information technology and Product Design, Volume: 1 Programm and Conference , Sopwell House, S. Albans, pp. 116-123, 1992.
79. Hoyes R. H., Wheelwright S. C., 'Link Manufacturing Process and Product Life Cycles'. Wheelwright, Jan-Feb 1979.
80. Huang G. Q. and Mak K. L., The DFX Shell: A Generic Framework For Applying 'Design For X' (DFX) Tools, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 1998, Vol. 11, No. 6, 475 - 484
81. Hyman B. Fundamentals of Engineering Design. New Jersey, Prentice Hall. 1998.
82. Howard L., Lewis H., The development of a database system to optimize manufacturing processes during design, Journal of materials processing technology 134, pp. 374-384, 2003.

## I

83. ISO 10303 “Industrial automation systems-Product data representation and exchange”, 1994.
84. Isaksson O., Keski -Seppälä S. and Eppinger S. D., Evaluation of design process alternatives using signal flow graphs, J. Eng. Design, 2000, Vol. 11, No. 3, 211–224.

**J**

85. Jiao J.,<sup>1,\*</sup> Tseng M. M., Ma Q and Zou Yi, Generic Bill-of-Materials-and-Operations for High-Variety Production Management, *Concurrent Engineering: Research and Application*, Volume 8 Number 4 December 2000.
86. Jin-Hai L. Anderson A.R., Harrison R.T., The evolution of agile manufacturing, *Business Process Management Journal*, Vol. 9 No 2, 2003, pp. 170-189.
87. Ji P. , Lau K.H. Design for manufacturing: a dimensioning aspect, *Journal of Materials Processing Technology* 91 (1999) 121–127.

**K**

88. Kidd, P.T., Organization , people and technology in European manufacturing, Commission of the European Communities, Report EUR 13967 EN, 1992.
89. Kimura, F., Future Perspective of CAD/CAM Research and Development in Japan, *CAD 92, Neue Konzepte zur Realisierung anwendungsorientierter CAD-Systeme*, Spring-Verlag, Berlin-New York, 1992.
90. Kim Yeongho, Kang Suk-Ho, Lee Soo-Hong and Yoo Sang Bong, A Distributed, Open, Intelligent Product Data Management Systematic., *J. Computer Integrated Manufacturing*, 2001, Vol. 14, No. 2, 224–235.
91. King G. S., Jones R. P. and Simner D., A good practice model for implementation of computer-aided engineering analysis in product development, *J. Eng. Design*, Vol. 14, NO. 3, September 2003, 315–331.
92. Krause, F., Kimura, F., Kjelberg, T., Lu, S.C. Product Modelling, *Annals of the CIRP Vol. 42/2/1993*, pp.695-706, 1993.
93. Kruglinski J. D., Shepherd G., *Programación Avanzada con Visual C++*, Mc Graw Hill, USA, 1997.
94. Kim S. H., Hom S. and Parthasarathy S., Design and manufacturing advisor for turbine disks, *Pergamon Press from Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 4, No. 3/4, pp. 585-92.
95. Kuo T. C., Huang S.H., Shang H.C, Design for manufacturing and design for X: concept, application, and perspectives, *Computers & Industrial Engineering* 41, 241-260, 2001.
96. Kulvatunyou B., Wysk R. A., Cho H. and Jones A., Integration Framework Of Process Planning Based On Resource Independent Operation Summary To Support Collaborative Manufacturing. *J. Computer Integrated Manufacturing*, July – August 2004, Vol. 17, No. 5, 377–393.
97. Koon D. A . E , Judd R. and Parks C., Manufacturing Systems Engineering And Design: An Intelligent, Multi-Model, Integration Architecture., *J. Computer Integrated Manufacturing*, 1996, Vol. 9, No. 6, 443-453.

**L**

98. Lee S.G., Ong K.L. and Khoo L.P., Control and Monitoring of Concurrent Design Tasks in a Dynamic Environment, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Volume 12 Number 1 March 2004.
99. Lenart G. M. and Nof S. Y., Object-Oriented Design Of Information Integration In Sheet Metal Manufacturing, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 1997, Vol. 10, No. 1-4, 29-50.
100. Liu S. and Young R.I.M. Utilizing information and knowledge models to support global manufacturing co-ordination decisions
101. Lin Chang-Pi, Jeng Li-Der, Yi-Ping Lin and Muder Jeng, Management and control of information flow in CIM systems using UML and Petri nets, *Int. J.*

- Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, No. 2–3, March–May 2005, 107 – 121.
102. Liverani A., Amati G. and Caligiana G., A CAD-augmented Reality Integrated Environment for Assembly Sequence Check and Interactive Validation, Concurrent Engineering: Research and Applications, Volume 12 Number 1 March 2004.
  103. Lye S. W. , Lee S. G., and Khoo M. K., A design methodology for the strategic assessment of a product's eco-eYciency, International Journal of Production Research., 2001, vol. 39, no. 11, 2453-2474.
- M**
104. Manzini R., Gamberi M., Regattieri A. and Persona A. Framework for designing a flexible cellular assembly system, int. j. prod. res., 1 september 2004, vol. 42, no. 17, 3505–3528.
  105. Mansour I., Rondeau E. and Thierry D., Industrial Systems Communications: Design and Integration, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2001, Vol. 14, No. 6, 545 – 559.
  106. Marca A. D., Structured Analysis and Design Technique, Mc Graw Hill, USA, 1990.
  107. Maropoulos P.G., Yao Z., Bradley H.D., Paramor K.Y.G., An integrated design and planning environment for welding Part 1: Process planning, Journal of Materials Processing Technology 107 (2000) 3-8.
  108. Maropoulos P.G., Yao Z., Bradley H.D., Paramor K.Y.G., An integrated design and planning environment for welding Part 2: Process planning, Journal of Materials Processing Technology 107 (2000) 9-14.
  109. Maropoulos P. G. Digital enterprise technology—defining perspectives and research priorities, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2003, Vol. 16, No. 7–8, 467–478.
  110. Mietrach D., Advanced castings In aircraft structures: a way to reduce costs, MRS -Europe, 1985, pp. 201-11
  111. McKay, A. Product Model, The framework of the Product Data Model, moses-core-pm-2 Issue 1, MOSES, Dept. of Mechanical Engineering, University of Leeds, Dept. of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1993.
  112. Mirón H., Especificación de un modelo de producto para ejes de transmisión, Memorias del V Congreso de la Sociedad de Mexicana de Ingenieros Mecánicos, SOMIM, 1999.
  113. Molina, A. A Manufacturing Model to Support Data-Driven Applications for Design and Manufacture, PhD Thesis, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University, 1995.
  114. Molina, A., A.H., Ellis, T.I.A., Young, R.I.M., Bell, R., Modelling manufacturing resources, processes, and strategies to support concurrente enginnering, International conference on Concurrent engineering research and applications, agust 29-31, 1994, Pittsburg, PA, USA.
  115. Molina, A., Al-Ashaab, A.H., Ellis, T.I.A., Young, R.I.M., Bell, R. A Review of Computer Aided Simultaneous Engineering Systems, Research in Engineering Design, Vol. 7, pp. 38-63, 1995.
  116. Molina A. And Bell R. Reference Models For The Computer Aided Support of Simultaneous Engineering, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2002, Vol. 15, No. 3, 193–213.
  117. MOSES Model Oriented Simultaneous Engineering System, (1992-1995).

118. Molloy O., Tilley S. and Warman E., Design for manufacturing and assembly : concepts, architectures and implementation, London : Chapman and Hall, 1998.
119. Muder J. And Xie X., Discrete event system techniques for CIM: guest editorial, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, No. 2–3, March–May 2005, 97 – 99.
120. Brück H., The Impact of Organizational Change Management on the Success of a Product Lifecycle Management Implementation - an Investigation into the Electronics Manufacturing Industry, Masters dissertation at: Fachhochschule Ludwigshafen am Rhein, University of Lincoln, March 2002.

## N

121. Nagalingam Sev V., Lin Grier C.I., Latest developments in CIM, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 15 (1999) 423-430

## O

122. O'Driscoll M., Design for manufacture, Journal of Materials Processing Technology 122 (2002) 318–321.
123. Ong. K. and Chew L. C., Evaluating the manufacturability of machined parts and their setup plans, Int. J. Prod. Res., 2000, VOL. 38, NO. 11, 2397-2415.

## P

124. Parks C. M., Koonce D. A., Judd R P. An Integrated Manufacturing Systems Design Environment, Computers ind. Engng Vol. 33, Nos 1-2, pp. 341-344, 1997.
125. Park H. G., Balk J. M., Enhancing manufacturing product development through learning agent system over internet, Computers & Industrial Engineering 37 (1999) 117-120.
126. Prince J., Kay J.M., Combining lean and agile characteristics: Creation of virtual groups by enhanced production flow analysis, Int. J. Production Economics 85 (2003) 305–318.
127. Prasad, B., Information management for Concurrent Engineering: Research Issues, Concurrent Engineering: Research and Application, Vol 1, pp3-20, 1993.
128. Prasad, B., A concurrent function deployment technique for a workgroup-based engineering design process, J. Eng. Design, 2000, VOL. 11, NO. 2, 103–119.

## R

129. Rembold U., The role of manufacturing models for the information technology of the factory of the 1990s, Journal of Design and Manufacturing, 1, pp. 67-87, 1991.
130. Regli W. C, Gupta S. K., and Naut D. S., Towards multiprocessor feature recognition, Computer-Aided Design. Vol. 29, No 1, pp. 37-51. 1997
131. Remko W. H., Product Data Management as enabler for Concurrent Engineering Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2002.
132. Roy D. And Anciaux D., Shop-Floor Control: A Multi-Agents Approach, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2001, Vol. 14, No. 6, 535–544.
133. Rozenfeld H., De Oliveira C. B. M. And Omokawa R., Development Of A Concurrent Engineering Education Environment, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2000, Vol. 13, No. 6, 475–482.

## S

134. Sanchoy K. D, Datla V., Gami S., DFQM - an approach for improving the quality of assembled products, International Journal of Production Research (Taylor and Francis Ltd) 2000, 38,2, 457-477.
135. Saaty, Thomas L., 1980, The analytic hierarchy process, McGraw-Hill.

136. Schuch, L. K., 1989, DFA promises and delivers. *Assembly Engineering*, **32**, 18-21.
137. Sharma R., Gao J.X., A progressive design and manufacturing evaluation system incorporating STEP AP224, *Computer in Industry* **47**, pp. 155-167, 2002.
138. Schey, John A. *Introduction to manufacturing processes*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2002.
139. Shorter D., CEN standardization activities related to CIMOSA, *Computers in Industry* **40\_1999**.305–310.
140. Simon H., *A Student`S Introduction To Engineering Design*. New York, Pergamon Press Inc. 1975
141. Smith P.G., Winning the New Products Rate Race, *Machine Design*, May 12, 1988.
142. Sohlenius, G., Concurrent Engineering, *Annals of the CIRP Vol. 41/2/1992*, pp.645-655, 1992.
143. Solte D., The OPAL platform—a CIMOSA compliant execution environment, *Computers in Industry* **40\_1999**.293–303.
144. Stoll H. W. Design for manufacture: an overview , *American Society of Mechanical Engineers from Applied Mechanics Reviews*, Vol. 39, No. 9, September 1986, pp. 1356-64.
145. Sprumont F. and Xirouchakis P., Towards A Knowledge-Based Model For The Computer Aided Design Process, *Concurrent Engineering: Research And Applications*, Volume 10 Number 2 June 2002.
146. Sun J., Xue D., A dynamic reactive scheduling mechanism for responding to changes of production orders and manufacturing resources, *Computers Industry* **46**, 189-207, 20001.
147. Swift K. G., Uddin M. E., Limage M. G. and Bielby M. S., Production-oriented design: a knowledge- based approach, *Butterworth & Co. Ltd from Advanced Manufacturing Engineering*, Vol. 1, January 1989
148. Stauffer L., Rule R., Reo H. A Template For Design For Manufacture Guidelines, *Proceedings of DETC™03 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, DETC2003/DFM-48135, Chicago, Illinois, USA, September 2-6, 2003.
149. Sehdev Kamal, Fan Ip-Shing, Cooper Stephen and Williams Gareth, Design for manufacture in the aerospace extended enterprise, *World Class Design to Manufacture*, Volume 2, Number 2, 1995, pp. 28–33.
150. Santos G. J. and Sarriegi D. J. M., Miisd – Methodology Of Integrated Information Systems Design, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, September 2004, Vol. 17, No. 6, 493–503.
151. Smart P. A., Maull R. S. and Childe S. J., A Reference Model Of `Operate` Processes for Process-Based Change, *Int. J. Computer Integrated manufacturing*, 1999, Vol. 12, No. 6, 471-482.
152. Sheldon Derek F. , A review on the relevance of design science in a global product development arena, *J. Eng. Design*, Vol. 15, No. 6, December 2004, 541–550.

## T

153. Toh K. T. K., The Realization Of Reference Enterprise Modelling Architectures, *Int. J. Computer Integrated Manufacturing*, 1999, Vol. 12, No. 5, 403 ± 417.

## V

154. Van Vliet W. H. and Van Luttervelt K., Development And Application Of A Mixed Product/Process-Based DFM Methodology Int. J. Computer Integrated Manufacturing, April–May 2004, Vol. 17, No. 3, 224–234.
155. Vinod Jacob D., Ramanak. V. and Rao P. V. M. Automated manufacturability assessment of rotational parts by grinding, int. j. prod. res., 2004, vol. 42, no. 3, 505–519

## W

156. Wang D., Nagalingam S. V. and Lin G. C. I., Development Of A Parallel Processing Multi-Agent Architecture for A Virtual CIM System, Int. J. Prod. Res., 1 September 2004, Vol. 42, No. 17, 3765–3785.
157. Wang C. and Bourne D. A., Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 13, No. 3, pp. 281-294, 1997.
158. Weber N. O., Product Development Teams and Tools Applied to the Aircraft Industry McDonnell Douglas Corporation, World Class Design to Manufacture, Vol. 1 No. 6, 1994, pp. 20-26.
159. Williams R. A. Redesigning mature products for enhanced manufacturing competitiveness, Proceedings of the 3<sup>rd</sup>, International Conference on Product Design for Manufacture and Assembly. 1990, Hewlett-Packard Co.
160. Whitney D. E, Manufacturing by design, Robotics and Assembly Systems Division, Charles Stork Draper laboratory, Inc., Cambridge, MA, USA.
161. Watson B. & Radcliffe D., Structuring Design for X Tool Use for Improved Utilization, Journal of Engineering Design, Vol. 9, No. 3, 1998.
162. Weber C., Horst W. And Deubel T., A different view on Product Data Management/Product Life-Cycle Management and its future potentials, J. ENG. DESIGN, VOL. 14, NO. 4, December 2003, 447–464.
163. <http://www.teamset.com/frame2.html>.
164. <http://www.npd-solutions.com/designguidelines.html>.
165. <http://www.design-iv.com/dfm.htm>, Boothroyd Dewhurst's Design for Manufacture Software.

## X

166. Xue D., Sun J., Norrie D.H., An intelligent optimal production scheduling approach using constraint-based search and agent-based collaboration, Computer in Industry, 46, 209-231, 2001.
167. Xue D., Dong Z., Coding and clustering of design and manufacturing concurrent design, Computers in Industry 34 (1997) 139- 153.

## Y

168. Yassine A A. & Falkenburg D. R., A Framework for Design Process Specifications Management, Journal of Engineering Design, Vol. 10, No. 3, 1999
169. Young R. I. M., Informing Decision-Makers In Product Design And Manufacture, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, 2003, Vol. 16, No. 6, 428–438.
170. Young R. I. M., Canciglieri o., Costa C.A., Manufacturing information in data model drive design, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol.213, Part B.
171. Youssef1Mohamed A., Mohamed Zubair, Sawyer Jr. Granville, & Whaley Gary L., Testing the impact of integrating TQM and DFM on the ability of small to medium size firms to respond to their customer needs, Total Quality Management, VOL. 13, NO. 3, 2002, 301- 313

172. Youssef Mohamed A., Design for manufacturability and time-to-market Part 2: some empirical findings, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 15 No. 1, 1995, pp. 6-23.
173. Youssef M. A., Design for Manufacturability and Time-to-Market Part 1: Theoretical Foundations, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 14 No. 12, 1994, pp. 6-21.
174. Youssef M. A., Measuring the Intensity Level of Just-in-Time Activities and Its Impact on Quality, International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 11 No. 5, 1994, pp. 59-80.

**Z**

175. Zangiacomi A., Zhijian L., Sacco M. and Boer C. R., Process planning and scheduling for mass customized shoe manufacturing, Int. J. Computer Integrated Manufacturing, october – november 2004, VOL. 17, NO. 7, 613–621.
176. Zhao F.L., Tso S.K. ), Wu P. S.Y., A cooperative agent modeling approach for process planning, Computers in Industry 41\_2000.83–97.
177. Zhou X, Gaines M. D., Arm :A tool for identifying and repairing un-machinable shapes in designs, Robotics and Computer Integrated Manufacturing 19 (2003)343 .353.

## APÉNDICE A

### Estructura principal del MP

El MP es la representación e integración de la información tecnológica y de las actividades durante el ciclo de vida del producto.

La estructura principal del MP se basa alrededor de seis categorías de información (Borja, 1999): Estructura del producto, Especificaciones, Conceptos, Características de diseño, Información de manufactura y Propiedades. La Estructura del producto es el núcleo del MP y se representa con la clase *entidad\_de\_diseño*. *producto*, *parte* y *característica* son entidades de diseño particulares. Las estructuras de entidades de diseño están comúnmente representadas usando diagramas de árbol jerárquicos, los cuales pueden modelar partes o productos completos: un *producto* puede ser subdividido en un gran número de *partes*, una *parte* puede ser un *componente* o un *ensamble*; éste a su vez puede ser descompuesto en subensambles. Los *componentes* están formados por *características*, que no pueden estar solas físicamente; siempre deben asociarse con otras para construir componentes o características más complejas.

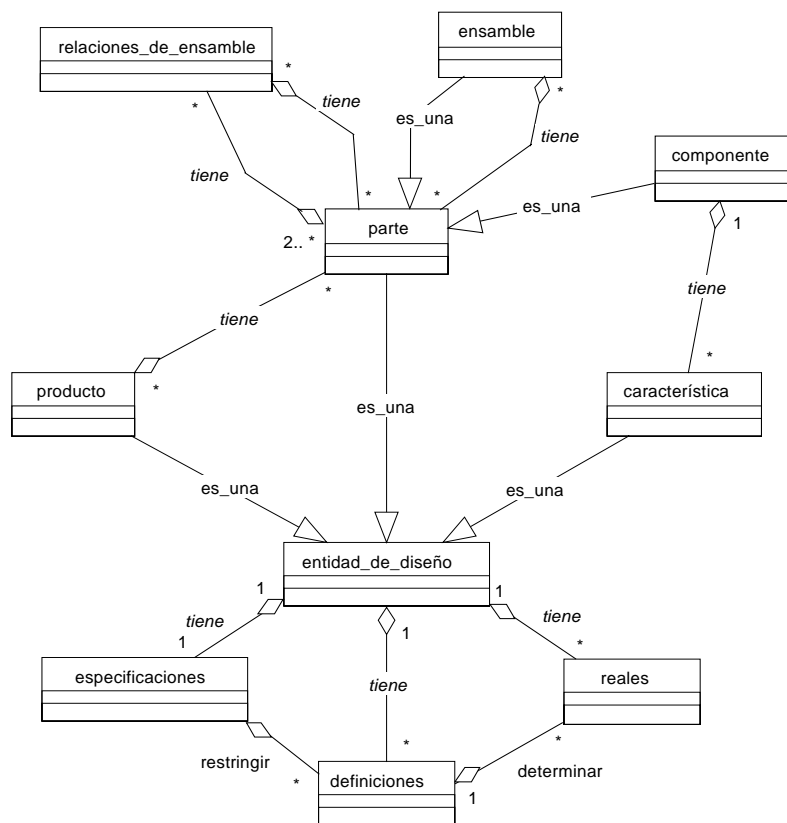
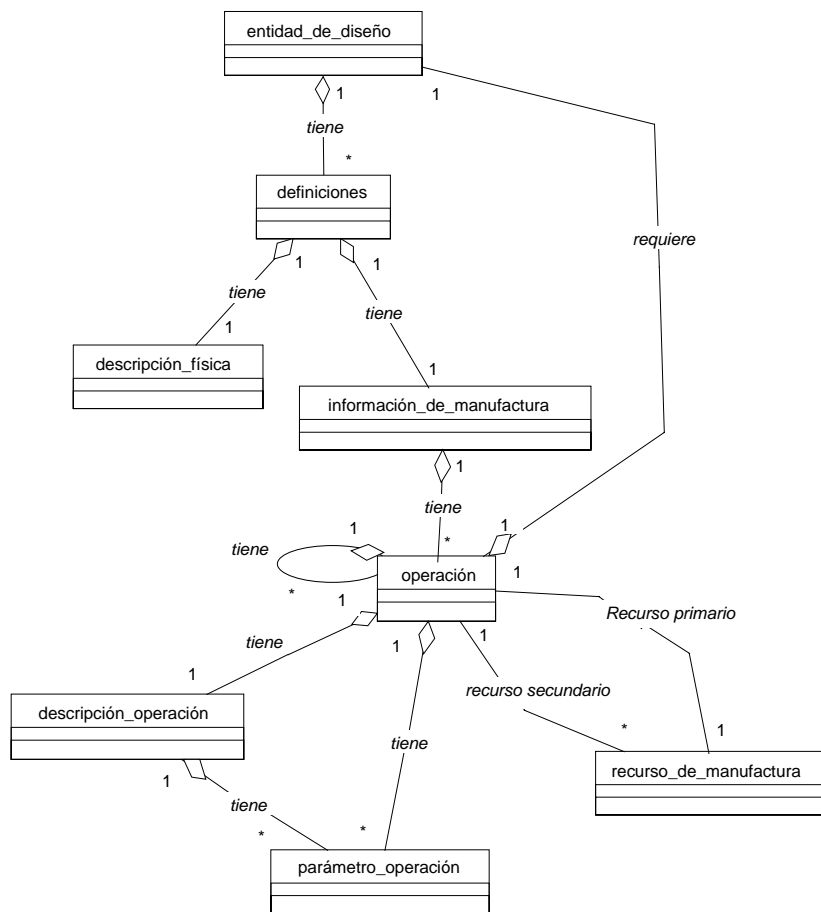


Figura 4.2 Estructura principal del MP

El MP provee el contexto para las estructuras de información soporten a la ingeniería concurrente considerando todas las etapas del ciclo de vida del producto. El manejo del MP y un modelo de manufactura (MM) permite que el producto sea diseñado y planeado para manufactura, la información de manufactura es modelada por la clase *definiciones*.





**Figura 4.3** Estructura de Entidad de diseño del MP

## Estructura principal del MM

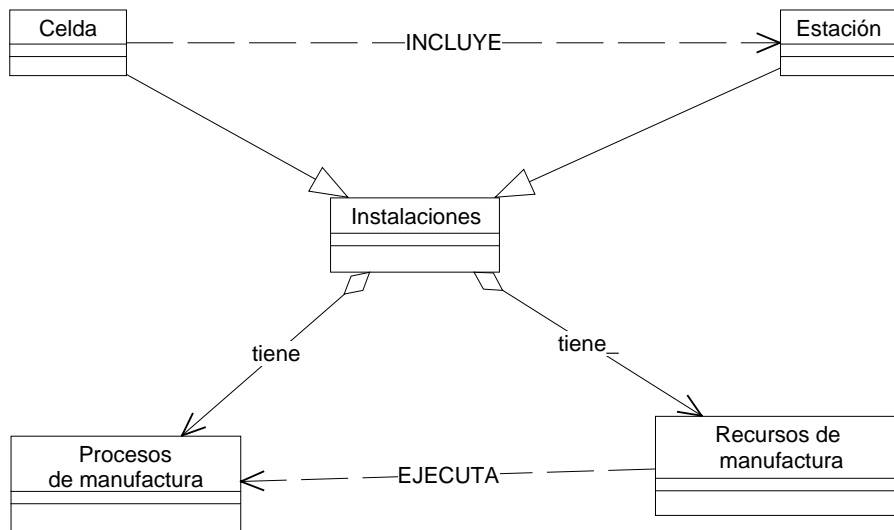
El MM es definido como un modelo de información que identifica, representa y captura datos, describe información y conocimiento de los recursos de manufactura, procesos y estrategias de una empresa en particular. Esto permite el aprovisionamiento de la información necesaria par soportar la toma de decisiones de manufactura en el diseño concurrente de productos.

Un reto mayor en el diseño del modelo de manufactura es la necesidad de proveer para los diferentes niveles de usuarios los requerimientos adecuados para cada uno de ellos. Es importante que el modelo de manufactura sea considerado desde varias perspectivas y diferentes niveles de abstracción para obtener la información de manufactura necesaria para todos los usuarios

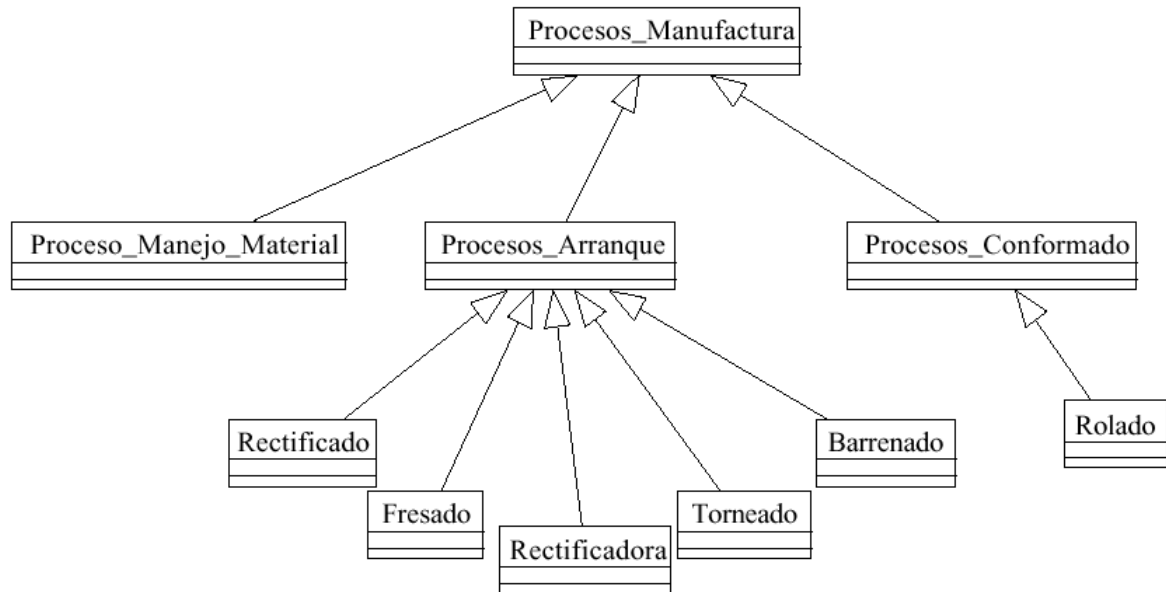
El orden adecuado de representar las capacidades y las habilidades de manufactura, deben estar compuestos y organizados de tal manera que faciliten la comunicación de la información de manufactura, adicionalmente debe soportar

información genérica y específica de la empresa. La genérica se refiere a los aspectos de las instalaciones; es decir, tipos de recursos y recursos con los que cuenta una empresa. Esta información representa capacidades teóricas basadas en lo que los recursos y procesos pueden realizar, características que incluyen peso, volumen, materiales, tolerancias, acabados superficiales, etc. La información específica de una empresa está basada en factores organizacionales y operacionales, es decir, son las decisiones y reglas de operación impuestas en la organización y composición de la manufactura. Las capacidades teóricas de los recursos y procesos pueden ser disminuidos dependiendo de las estrategias impuestas.

El modelo de manufactura contiene información relacionada a tres aspectos importantes de la empresa, procesos, recursos y estrategias (Fig. 4.4 ). Los recursos se refieren a todos los elementos físicos que se encuentra, en una empresa y que permiten la ejecución de la producción como: maquinaria de producción, herramientas de producción, material, sistemas de almacenamiento, personal (Fig. 4.5 ).

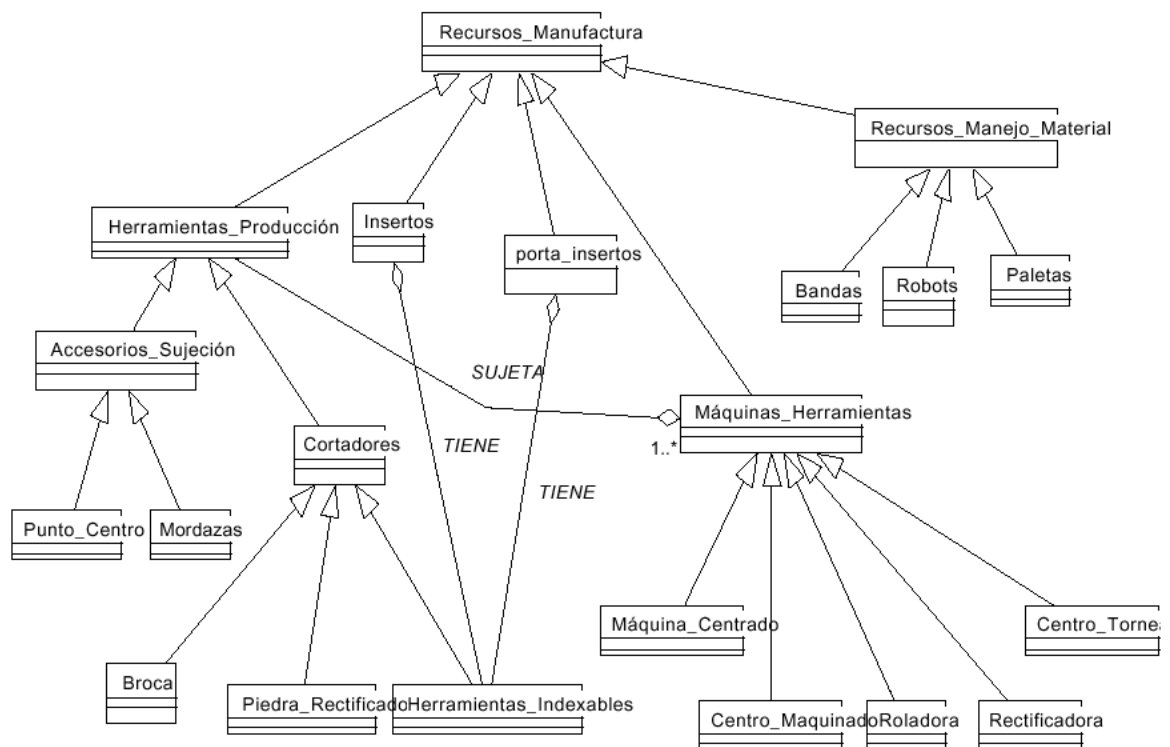


**Figura 4.4** Estructura principal del MP



**Figura 4.5** Estructura principal del MP

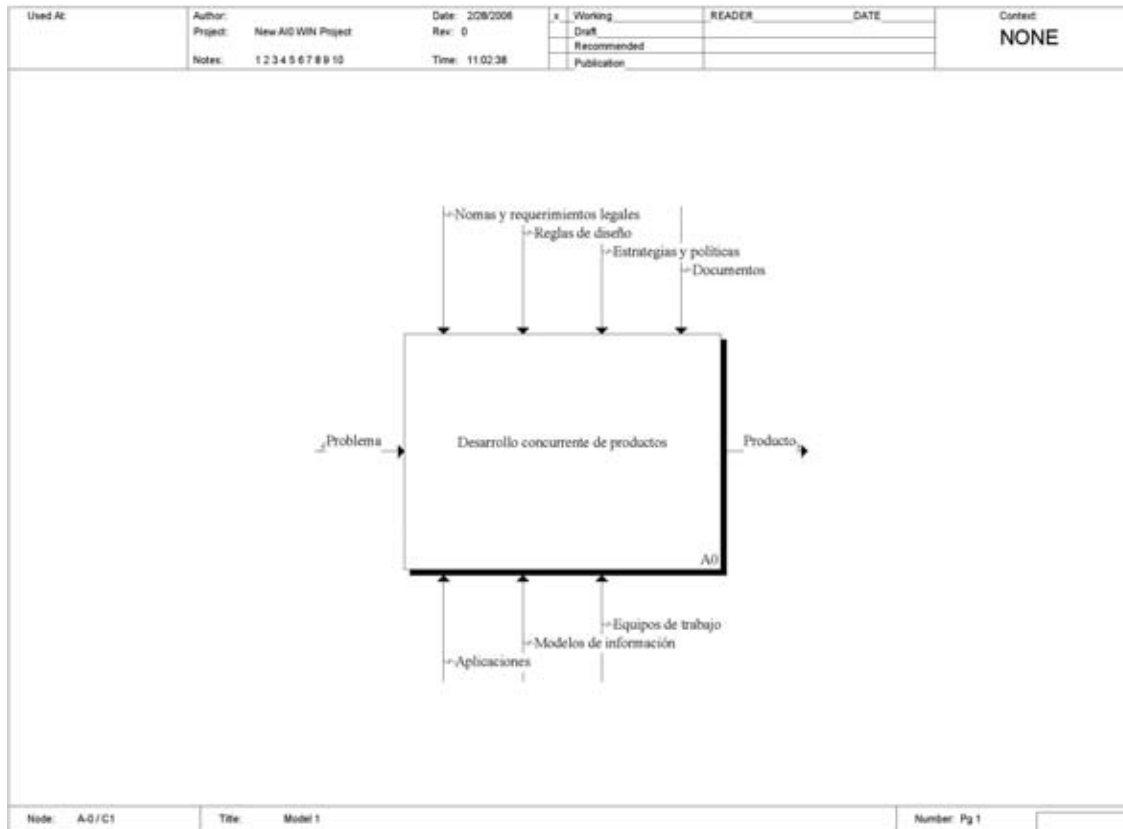
Los procesos son definidos en general como un cambio en las propiedades de un objeto, incluyendo la geometría, la dureza, etc. Las compañías necesitan de estrategias de decisión y reglas de operación llamadas estrategias de manufactura, éstas describen restricciones impuestas sobre el uso y organización de los recursos y procesos. La relación entre estos tres aspectos fundamentales describe la capacidad de manufactura de una compañía para tomar decisiones estratégicas y operacionales (Fig. 4.6).

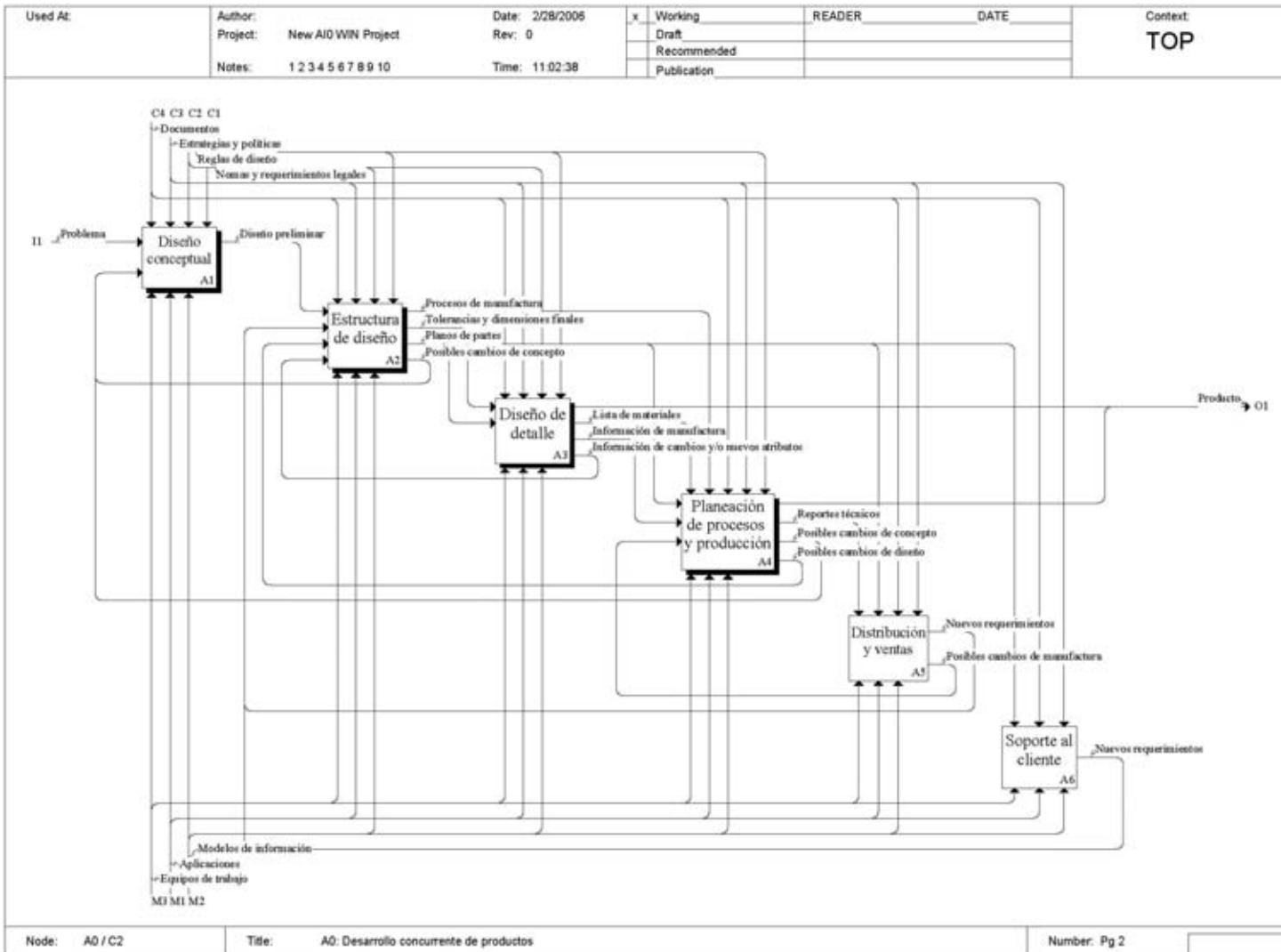


**Figura 4.6** Estructura principal del MM

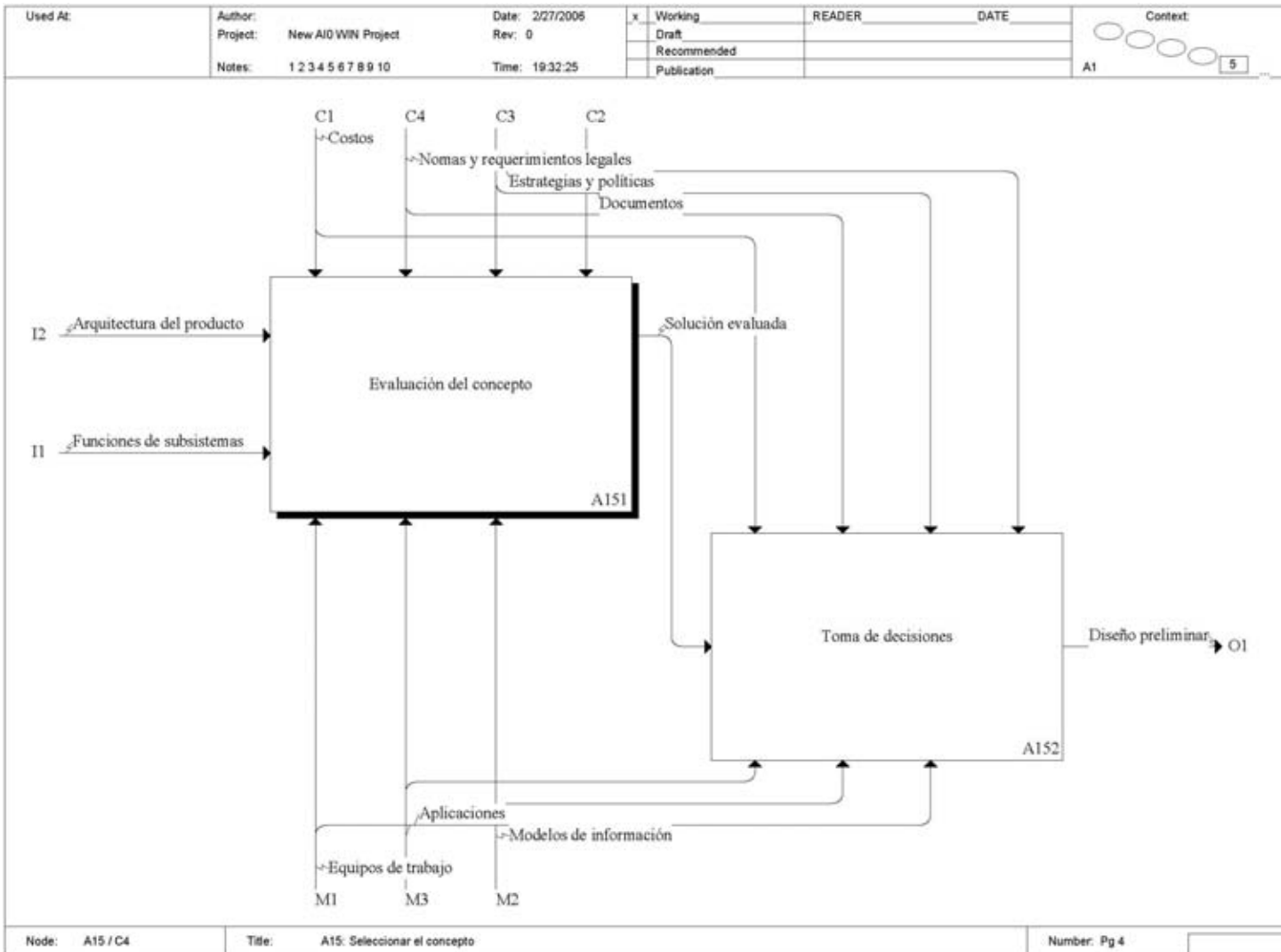
## APÉNDICE B

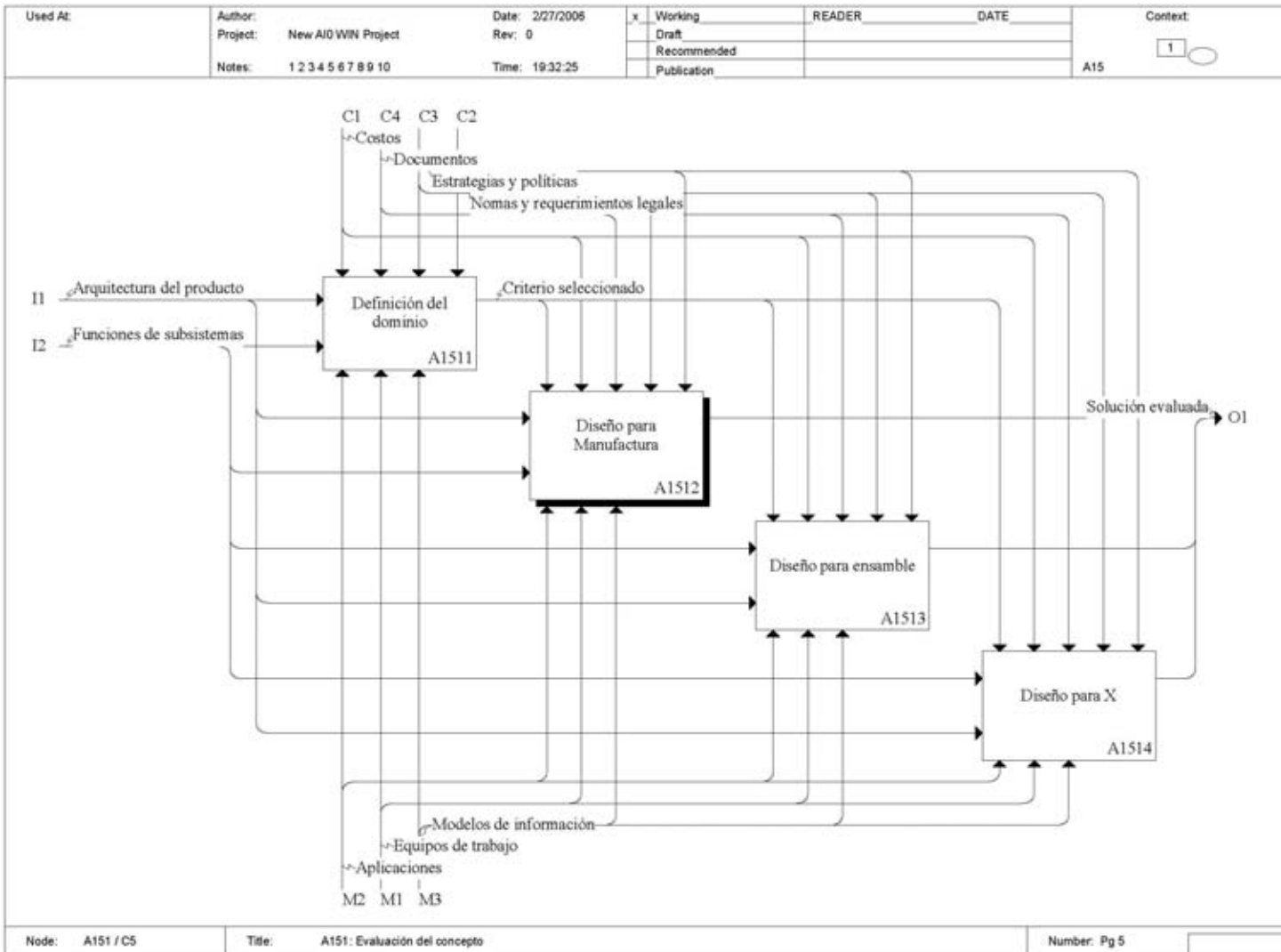
### Modelo de desarrollo concurrente del producto en IDEF0.



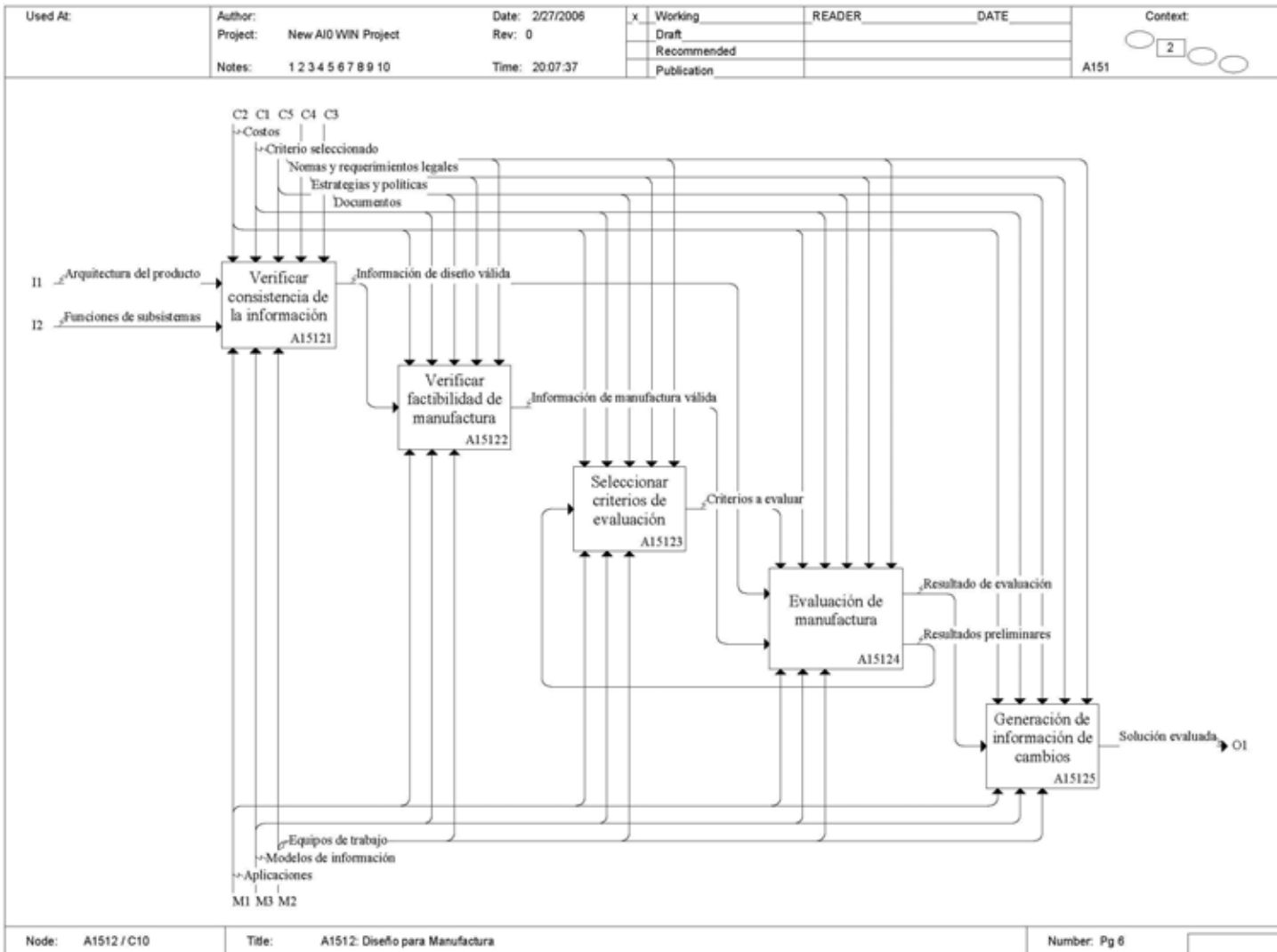


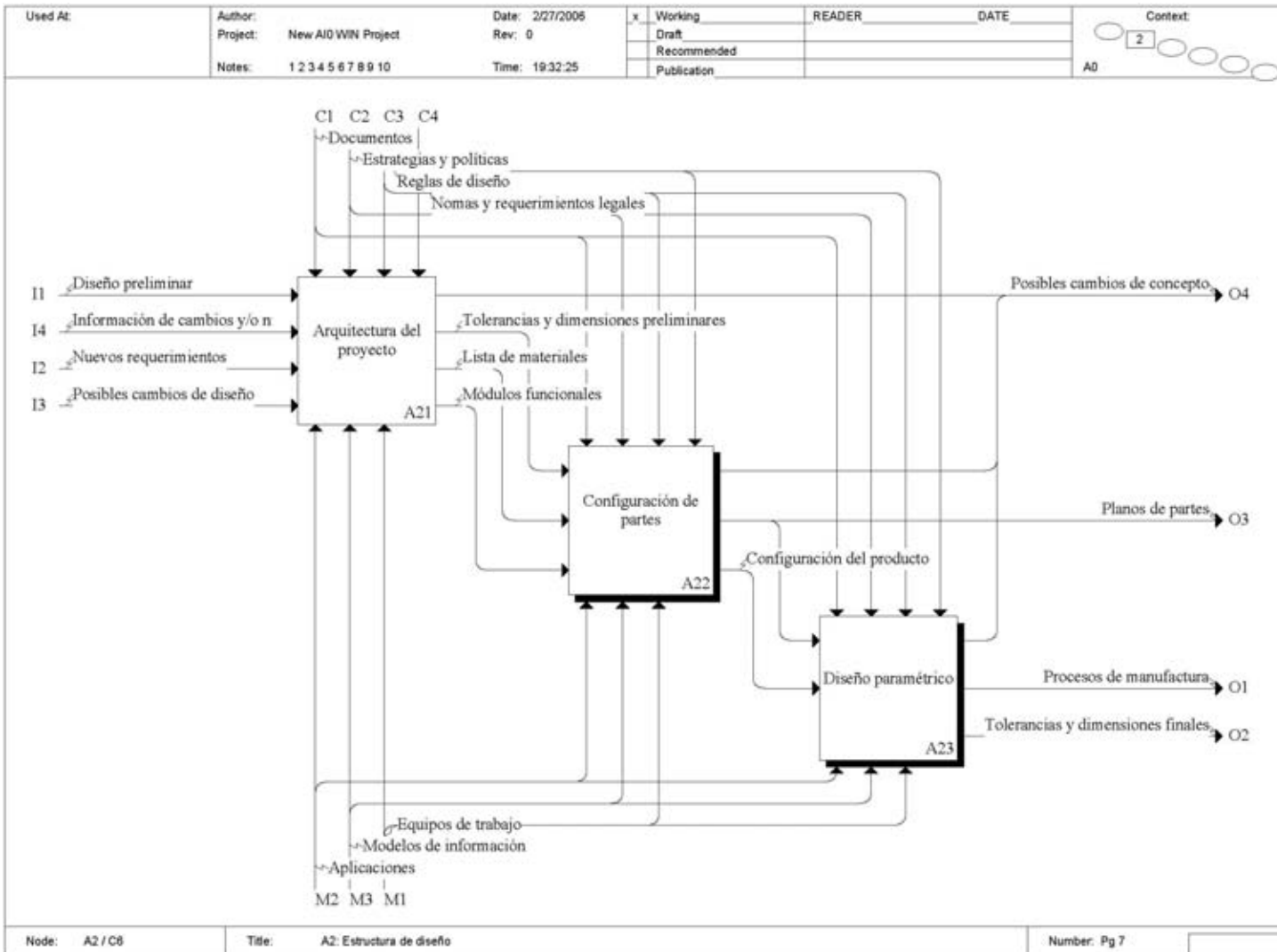


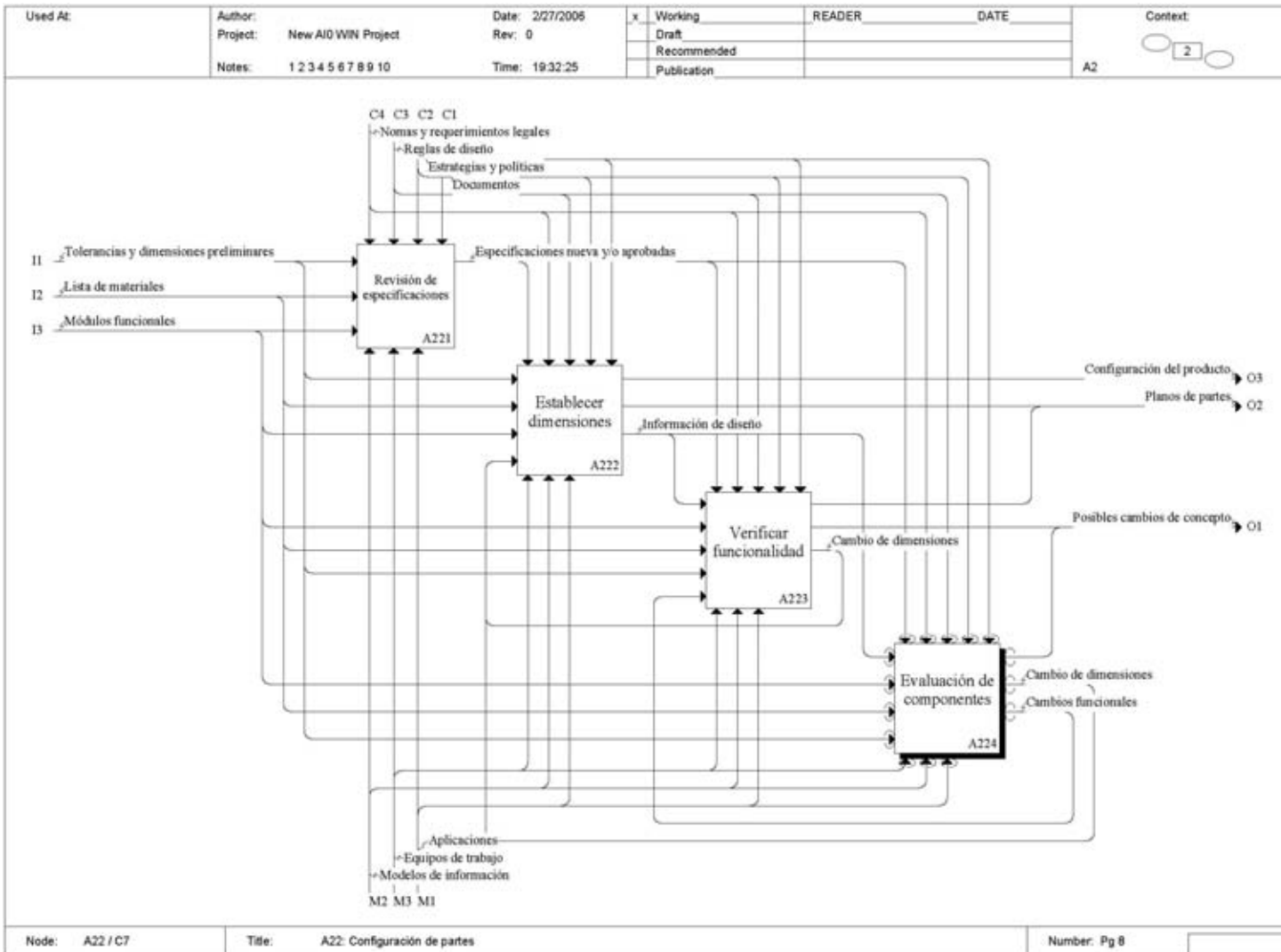


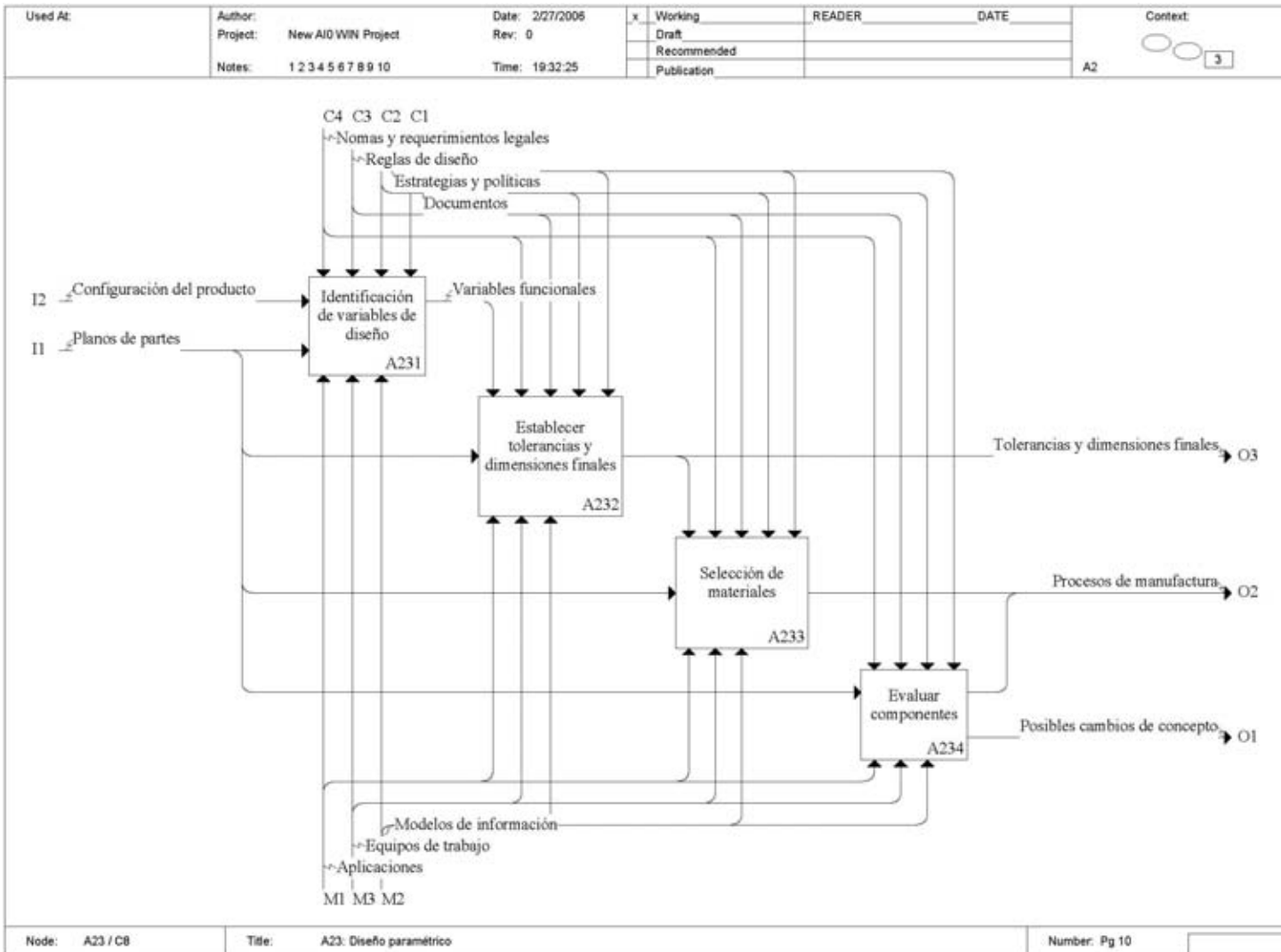


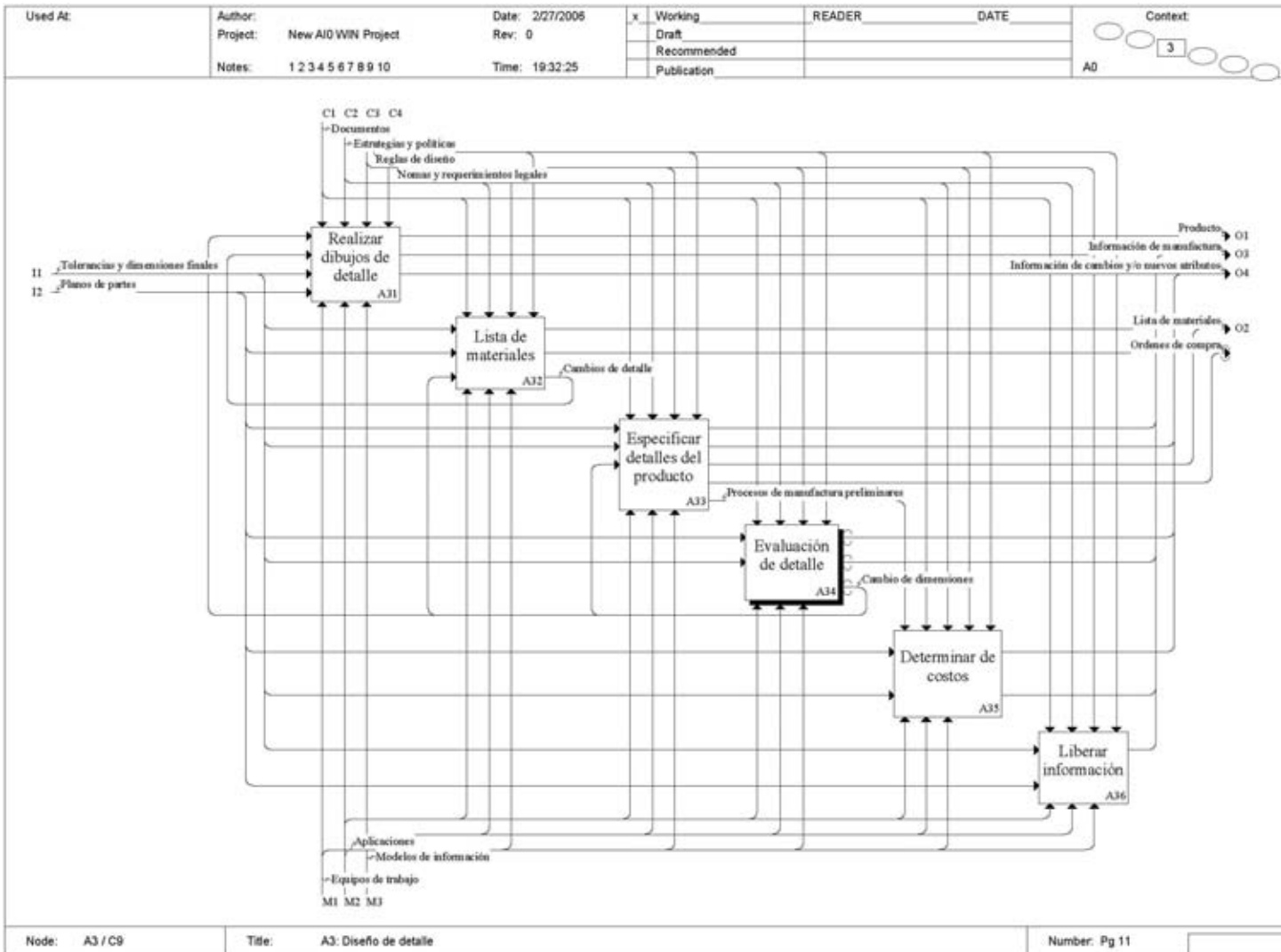


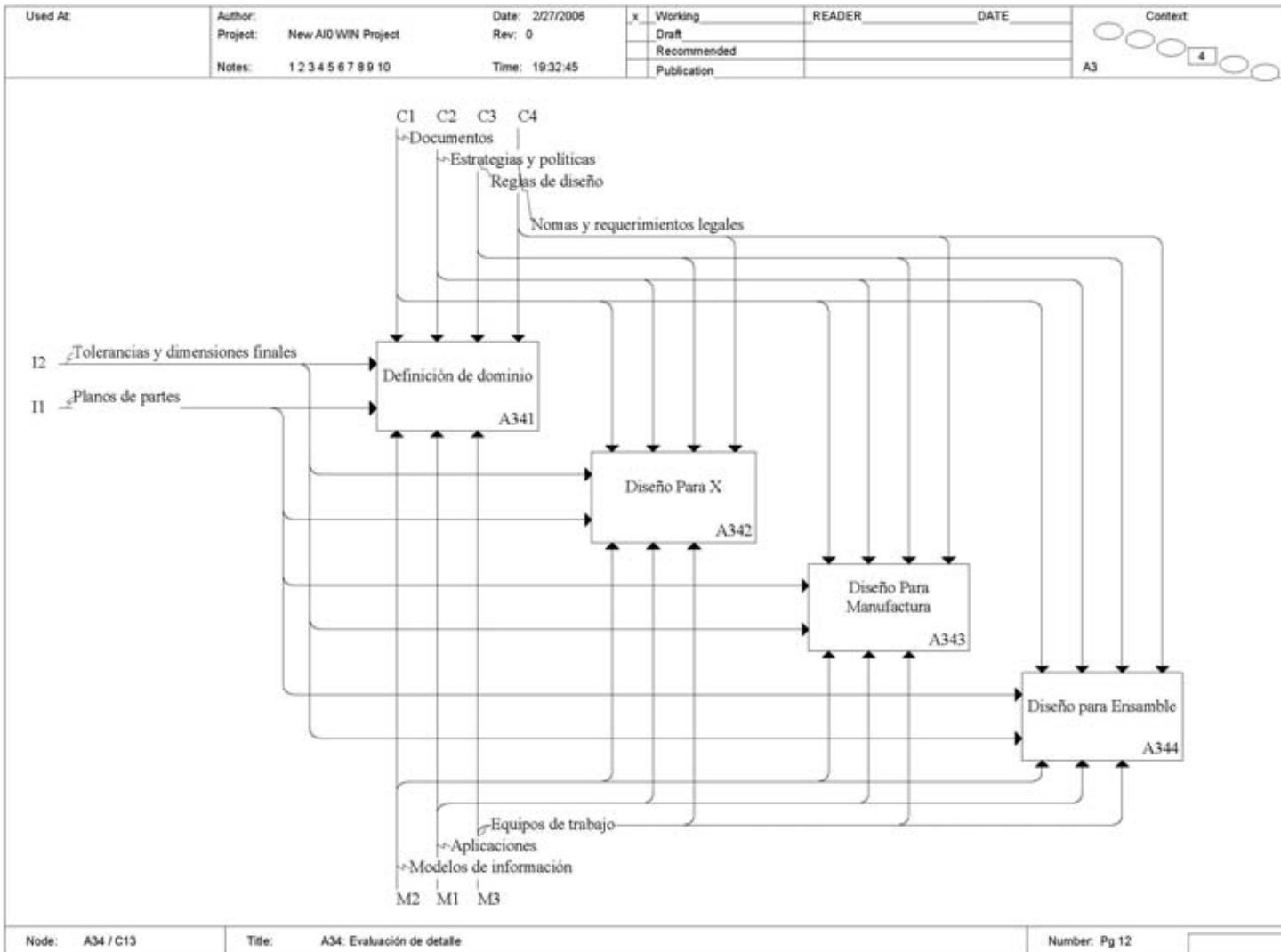


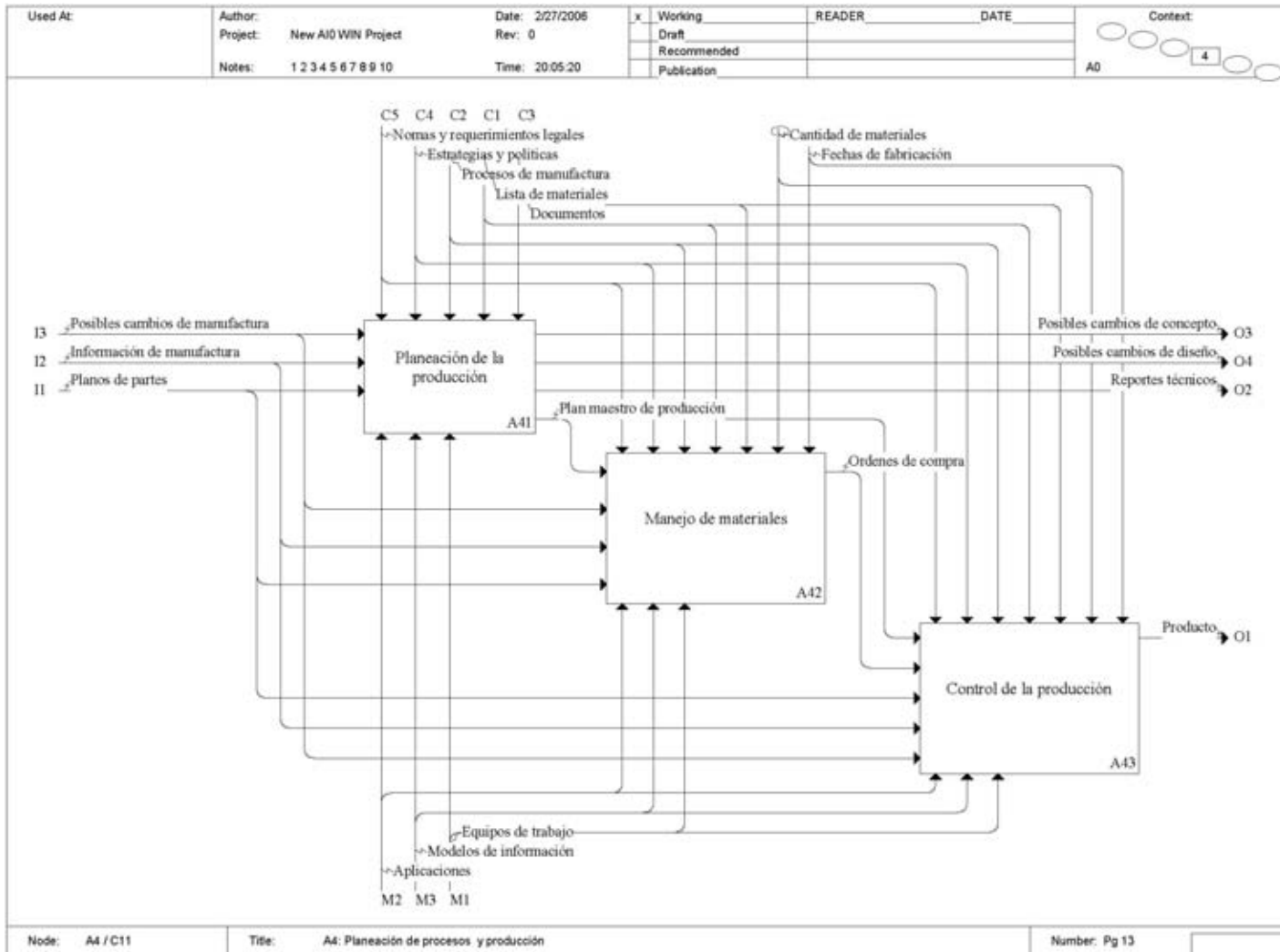












## APÉNDICE C

### Modelador de ejes de transmisión

La figura 1 nos muestra la pantalla principal del ambiente de desarrollo Visual C++, ésta consta de dos secciones principales, el menú principal y el área donde se desplegarán los diálogos de trabajo.

Para comenzar a trabajar, el diseñador debe crear un proyecto, es decir una nueva base de datos, posteriormente podrá crear los ejes que desee dentro de este proyecto.

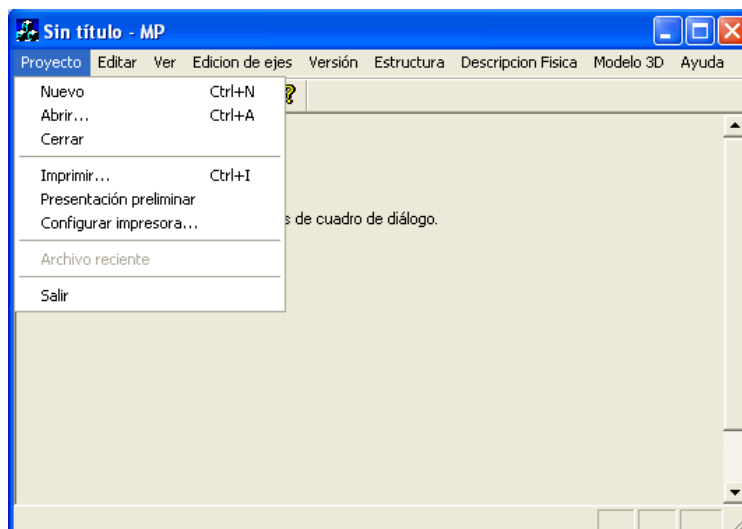


Figura 1 Aplicación modelador de ejes de transmisión.

Una vez que se abrió un nuevo proyecto, es necesario crear un eje, para ello seguimos la siguiente ruta: en el menú seleccionamos "Edición de ejes" a continuación "Crear", ahora se escribe el nombre del eje y se oprime el botón "Crear Eje". La figura 6.7 muestra la ventana para crear un eje. Al realizar este procedimiento la aplicación está creando un objeto de la clase *componente*.

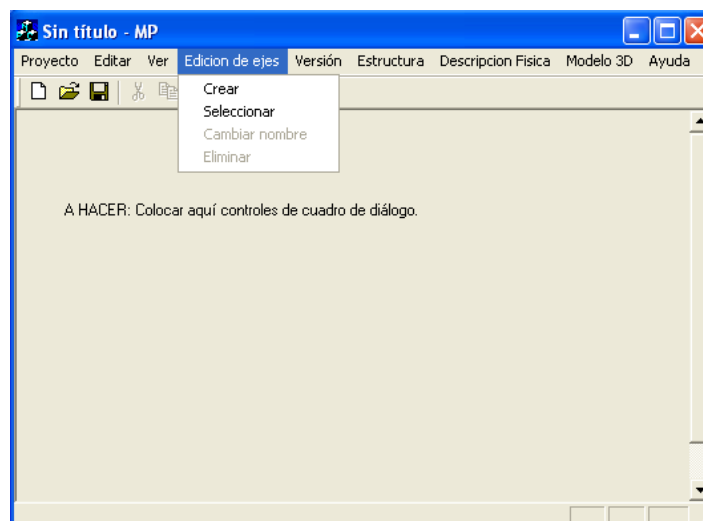
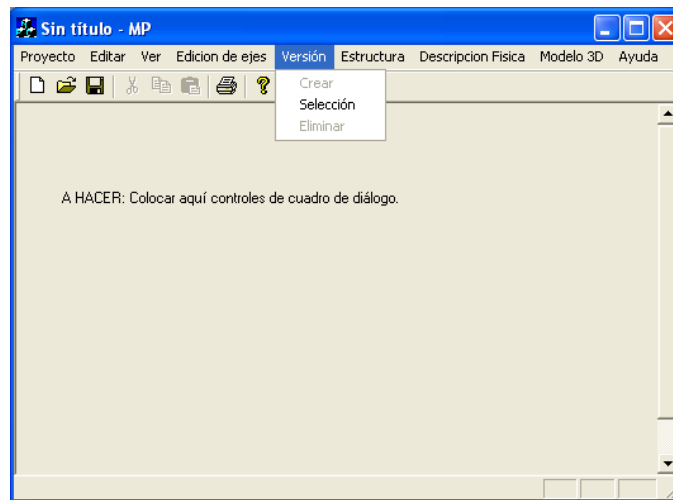


Figura 2

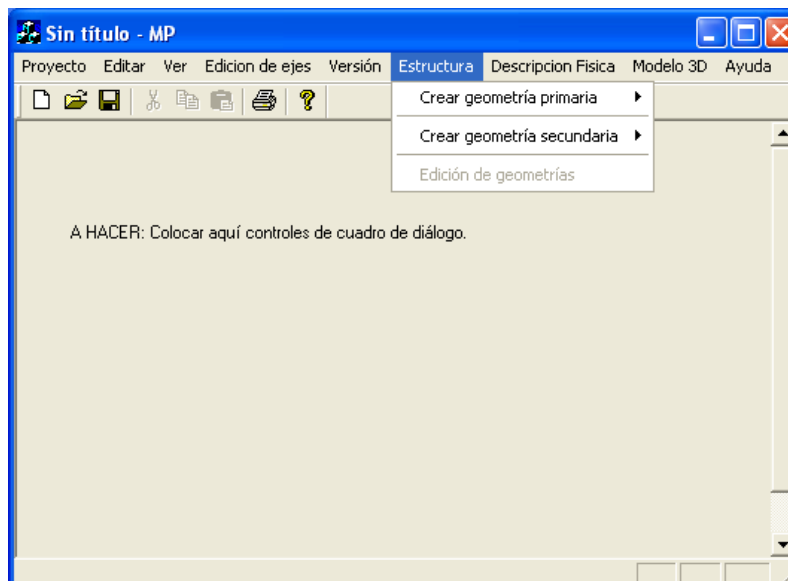


Al crear un eje se crea también una versión original de él, recordemos que una versión o definición de un componente nos sirve para modelar sus características de diseño, en la figura 3 se muestra la pantalla para seleccionar la versión con la que se desea trabajar.



**Figura 3**

El siguiente paso será definir la estructura del eje comenzando por una característica o geometría primaria (Fig. 4). Ya que se creó una geometría primaria podemos continuar definiendo sus geometrías secundarias.



**Figura 4**

Una vez definida la estructura del eje estamos en posibilidad de realizar la descripción física, para lo cual, se deben definir las dimensiones de las geometrías utilizando la ventana de definición de dimensiones mostrada en la figura 5.

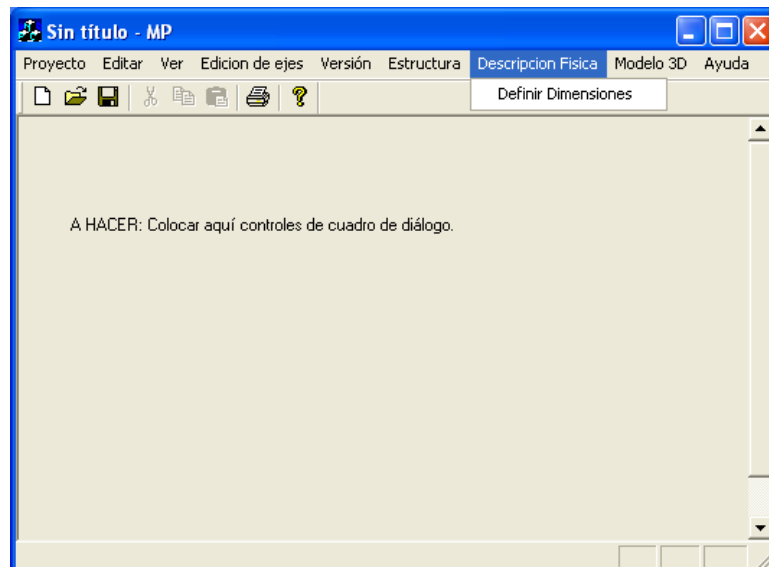


Figura 5

La figura 6 muestra la interfaz para definir las dimensiones de una geometría, en este caso se representa un cilindro externo pero se debe mencionar que todas las geometrías tienen una ventana para definir sus atributos.

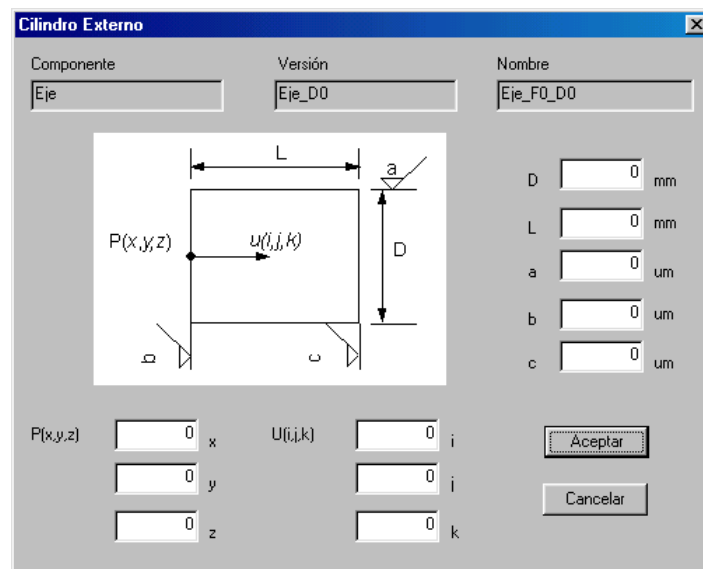


Figura 6

## APÉNDICE D

### Software experimental DMX

Este apéndice describe la estructura del programa MDX, utilizando el lenguaje de programación C ++.

El archivo Schema.scm, muestra las clases del modelo del producto y de manufactura utilizadas en la aplicación.

```
#define OS_DB_EXT_CLASS
#define _OLE2_H_

#include <ostore/ostore.hh>
#include <ostore/coll.hh>
#include <ostore/coll/dict_pt.hh>
#include <ostore/relat.hh>
#include <ostore/manschem.hh>

#include "CCaracteristica.h"
#include "CCentro.h"
#include "CCilindro.h"
#include "CComponente.h"
#include "CCuerda.h"
#include "CDefinicion.h"
#include "CDescripcion_Fisica.h"
#include "CDeTransicion.h"
#include "CEntidad.h"
#include "CHueco.h"
#include "CPrimaria.h"
#include "CRanura.h"
#include "CSecundaria.h"
#include "CSimple.h"
#include "CTermino.h"
#include "df_caracteristica.h"
#include "df_centro.h"
#include "df_cil_ext.h"
#include "df_comp_cil.h"
#include "df_ext_conc_rad.h"
#include "df_ext_conv_rad.h"
#include "df_ext_ranura.h"

#include "df_ext_term_chaf.h"
#include "df_ext_termino.h"
#include "df_ext_trans.h"
#include "df_ext_trans_chaf.h"
#include "df_ext_undercut.h"
#include "df_hueco.h"
#include "df_int_cuerda.h"
#include "df_taladrado.h"

/*
 * persistence macros
 */
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CCaracteristica);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CCentro);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CCilindro);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CComponente);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CCuerda);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CDefinicion);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CDescripcion_Fisica);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CDeTransicion);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CEntidad);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CHueco);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CPrimaria);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CRanura);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CSecundaria);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CSimple);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(CTermino);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_caracteristica);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_centro);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_cil_ext);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_comp_cil);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_conc_rad);
```

```

OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_conv_rad);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_ranura);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_term_chaf);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_termino);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_trans);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_trans_chaf);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_ext_undercut);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_hueco);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_int_cuerda);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(df_taladrado);

OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CCaracteristica*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CCentro*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CCilindro*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CComponente*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CCuerda*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CDefinicion*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CDescripcion_Fisica*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CDeTransicion*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CEntidad*>);

OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CHueco*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CPrimaria*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CRanura*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CSecundaria*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CSimple*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<CTermino*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_caracteristica*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_centro*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_cil_ext*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_comp_cil*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_conc_rad*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_conv_rad*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_ranura*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_term_chaf*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_termino*>);

OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_trans*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_trans_chaf*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_ext_undercut*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_hueco*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_int_cuerda*>);
OS_MARK_SCHEMA_TYPE(os_Collection<df_taladrado*>);

//TODO: If you manually add a class which you want to allocate
// persistently, add
// OS_MARK_SCHEMA_TYPE(<classname>)

// PSE
//TODO: Create a custom build rule to compile this file.
// The output file is: $(IntDir)\os schm.obj
// The command line is: pssg -asof $(IntDir)\schema.obj schema.scm

// OBJECTSTORE
//TODO: Create a custom build rule to compile this file.
// The output file is: $(OutDir)\schema.obj
// The command line is: ossg.exe -asof $(OutDir)\schema.obj -asdb $(OutDir)\schema.adb $(InputPath) $(OS_ROOTDIR)\lib\os_coll.ldb

```