



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CREACIÓN DE UN MODELO DEL PRODUCTO  
PARA ASISTIR EN LA EVALUACIÓN DE LA FACILIDAD  
DE ENSAMBLE**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA EN COMPUTACIÓN**

**PRESENTA:  
MARÍA DEL SOCORRO ARMENTA SERVÍN**

**DIRECTOR DE TESIS:  
M.I. ÁLVARO AYALA RUÍZ**

**CODIRECTOR:  
DR. JESÚS MANUEL DORADOR GONZÁLEZ**

**MÉXICO D.F.,**

**AGOSTO 2003**



## *Agradecimientos*

*A mis papas, quienes me han dado todo su cariño y apoyo en todo momento. Este es el resultado de todos sus esfuerzos por haberme enseñado y animado a estudiar.  
Gracias.*

*A Jesús Manuel, por estar a mi lado siempre, amándome y apoyándome en todas mis decisiones.*

*A mis amigos del Departamento de Ingeniería Mecánica por todo el apoyo y sus muestras de cariño que he recibido, especialmente a los del LIMAC y CDM.*

*A mis compañeros y amigos de la carrera, gracias.*

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. CONTEXTO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	4
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
2.1. SISTEMAS CAD/CAM.....	5
2.2. INGENIERIA CONCURRENTE.....	8
2.3. SISTEMAS CIM.....	11
2.4. BASES DE DATOS.....	13
2.4.1. INTRODUCCIÓN A LAS BASES DE DATOS.....	13
2.4.2. MODELO JERÁRQUICO.....	14
2.4.3. MODELO DE RED.....	16
2.4.4. MODELO RELACIONAL.....	19
2.4.5. MODELO ORIENTADO A OBJETOS.....	22
<b>3. MODELOS DE INFORMACIÓN</b> .....	<b>25</b>
3.1. MODELO DEL PRODUCTO.....	26
3.2. MODELO DE MANUFACTURA.....	31
3.3. INFORMACIÓN DE MANUFACTURA EN EL MODELO DEL PRODUCTO.....	33
3.4. ESTÁNDARES PARA MODELAR INFORMACIÓN.....	35
3.5. MODELOS DE INFORMACIÓN PARA DISEÑO Y MANUFACTURA.....	36
3.5.1. TRABAJOS DESARROLLADOS EN INGLATERRA.....	36
3.5.2. TRABAJOS ACTUALES EN MODELOS DE INFORMACION.....	39
3.6. INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL ENSAMBLE EN EL CICLO DEL PRODUCTO.....	43
3.6.1. DISEÑO PARA ENSAMBLE.....	44
3.6.2. MODELADO DE ENSAMBLE.....	46
3.6.3. MODELOS DE ENSAMBLE.....	47
3.6.4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUAR LA FACILIDAD DE ENSAMBLE.....	50
3.6.5. MODELO DE INFORMACIÓN A UTILIZAR.....	51
3.6.5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO DEL PRODUCTO PROPUESTA POR DORADOR.....	51
<b>4.DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA ASISTIR AL DISEÑADOR EN ASPECTOS DE DISEÑO PARA ENSAMBLE</b> .....	<b>53</b>
4.1. NUEVA ESTRUCTURA DEL MODELO DEL PRODUCTO.....	53
4.2. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS UTILIZADAS.....	55
4.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE.....	55
4.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	57
4.5. CASO DE ESTUDIO.....	66

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>APÉNDICE A .....</b>	<b>84</b>
<b>APÉNDICE B.....</b>	<b>96</b>
<b>APÉNDICE C .....</b>	<b>103</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>

# INTRODUCCIÓN

## 1.1. CONTEXTO

El proceso de diseño ha cambiado enormemente a partir de la década pasada. La tecnología de Diseño Asistido por Computadora (CAD) y Manufactura Asistida por Computadora (CAM) ha revolucionado los procedimientos utilizados en conceptualizar y diseñar partes mecánicas y diseños arquitectónicos, entre otros.

Para los ingenieros diseñar significa crear algo nuevo, ya sea para reemplazar diseños existentes o alterando algunos para mejorarlos. Diseñar no está restringido sólo a los ingenieros, también lo practican un gran número de profesionales incluyendo artistas, escultores y compositores.

Un diseño es usualmente creado para satisfacer una necesidad de una persona en particular, grupo, o comunidad. Sin embargo, para diseñar un producto, se necesita saber las limitaciones del problema y entonces proponer una solución que opere con estas limitaciones.

Tradicionalmente, el proceso de diseño involucra dibujantes e ingenieros de diseño, quienes, una vez que han concluido su trabajo presentan sus planos del producto al área de manufactura o producción, en donde los ingenieros de manufactura tratarán de producir el producto de acuerdo a las especificaciones de la gente de diseño. Este enfoque se conoce como ingeniería secuencial [Amirouche, 1993].

Actualmente la presión del mercado global, la competencia internacional, la vida del producto más corta, el incremento de las variantes de un producto, demandas crecientes de los clientes para mejores productos y tiempos de entrega más cortos, son algunos de los factores que afectan la producción industrial. Para solucionar estas cuestiones, desarrollos tecnológicos como la tecnología de la información, nuevas estrategias de diseño, nuevas técnicas de procesamiento, y sistemas de producción flexibles, juegan un papel muy importante. Para conseguir mejoras significativas en el costo del producto, funcionalidad y tiempo en el mercado, se han hecho cambios en la etapa más significativa del producto, es decir, en la etapa de diseño. Varias industrias e

investigadores han demostrado que trabajar en un ambiente de ingeniería concurrente ayuda a llevar a cabo esos cambios. La ingeniería concurrente permite trabajar de manera simultánea, es decir, no es necesario que una etapa finalice para comenzar la otra.

Una característica de la ingeniería concurrente es el intercambio de información entre las diferentes áreas que involucran el ciclo de vida del producto. Esto incluye compartir una gran cantidad de información del proceso y el producto para permitir a las aplicaciones trabajar concurrentemente. Avances significativos en el área computacional han permitido el uso de aplicaciones de software para soportar actividades a través del ciclo de vida del producto. Para evitar errores y reducir el tiempo en la traslación de información de un sistema a otro, es necesario un enfoque de una estructura de información compartida. Este nuevo enfoque está basado en modelos de información, los cuales son el tema principal de este trabajo.

El proceso de diseño consta de varias etapas, en el presente trabajo se hace referencia sólo a la etapa de ensamble.

En las primeras etapas del proceso de diseño en el enfoque de ingeniería secuencial, no se cuenta con la información necesaria para anticipar las actividades de ensamble que requerirá el producto, lo cual hace que dichas actividades sean consideradas hasta las etapas finales del proceso [Dorador and Young, 2000]. Debido al alto costo que implica el realizar cambios en el diseño del producto en las etapas finales del proceso de diseño, se han desarrollado técnicas para llevar a cabo el proceso de ensamble en las etapas iniciales del proceso de diseño, estas técnicas se conocen como “Diseño para ensamble” (DFA) [Dorador and Young, 2000].

Existe software comercial que ayuda en la etapa de diseño de detalle, sin embargo no proporciona toda la ayuda al diseñador en las etapas tempranas del diseño. Para ayudar a un equipo basado en ingeniería concurrente, es importante que las herramientas desarrolladas estén disponibles para operar en un ambiente integrado. Este no es el caso de un gran número de herramientas de software actualmente utilizadas en la industria para la planeación de los procesos.

Una forma generalmente aceptada para proporcionar un ambiente integrado es la utilización de Modelos de Información. Las investigaciones que se han llevado a cabo en la utilización de estos modelos dentro de las áreas de diseño y manufactura han creado los conceptos de Modelo del Producto y Modelo de Manufactura. En el primero se capturan las características del producto, y en el segundo, la información de manufactura es descrita y almacenada [Dorador and Young, 2000].

## 1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es probar la factibilidad del uso de las estructuras de los Modelos de Información para asistir en el Diseño para Ensamble por medio de la Evaluación de la Facilidad de Ensamble, dentro de un ambiente de Ingeniería Concurrente; este trabajo se desarrolló dentro del Proyecto CONACYT No. I39208U “Aplicación de Diseño para Ensamble en Ingeniería Concurrente”

Para cumplir con este objetivo se necesitan llevar a cabo las siguientes actividades:

1. Revisión de los trabajos llevados a cabo en las áreas de diseño y manufactura utilizando modelos de información,
2. Identificar la información necesaria para llevar a cabo las actividades de ensamble,
3. Proponer o modificar un modelo, en base a la información que deben mantener,
4. Diseñar un sistema de software capaz de editar y guardar la información de las actividades de ensamble, considerando que se trabajará en un ambiente de ingeniería concurrente.

El sistema se probará con datos obtenidos de un caso de estudio para evaluar y validar las ideas propuestas.

### 1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS.

La presente sección describe la organización de este trabajo.

El capítulo 2 presenta los conceptos básicos correspondientes a las áreas de interés. Comienza con una introducción a los sistemas CAD/CAM, continuando con una breve introducción a las herramientas existentes y futuras, dentro del contexto de ingeniería concurrente. Terminando con los conceptos de bases de datos, y los diferentes modelos de bases de datos que existen.

El capítulo 3 hace referencia a los modelos de información y a las herramientas que existen para crearlos, así como también hace referencia a los modelos de información que se han creado para diseño y manufactura, y a los trabajos que actualmente se desarrollan utilizando modelos de información.

El capítulo 4 describe el proceso seguido para el diseño e implementación del modelo de información para ensamble en un caso de estudio.

Y finalmente se presentan las conclusiones y comentarios finales.



## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. SISTEMAS CAD/CAM

Los sistemas CAD/CAM han sido utilizados de diferentes maneras por diferentes personas. Algunos utilizan los sistemas CAD/CAM para generar dibujos y documentar diseños. Otros los emplean como herramienta visual para generar imágenes sombreadas y despliegues animados. Un tercer grupo genera análisis de algún tipo sobre modelos geométricos, por ejemplo análisis por elemento finito. Un cuarto grupo los utiliza para generar planeación de procesos y programas de Control Numérico (NC).

Para establecer los alcances y definición de los sistemas CAD/CAM en un ambiente de ingeniería e identificar las herramientas existentes y futuras, es necesario un estudio de un típico ciclo de producto (figura 1).

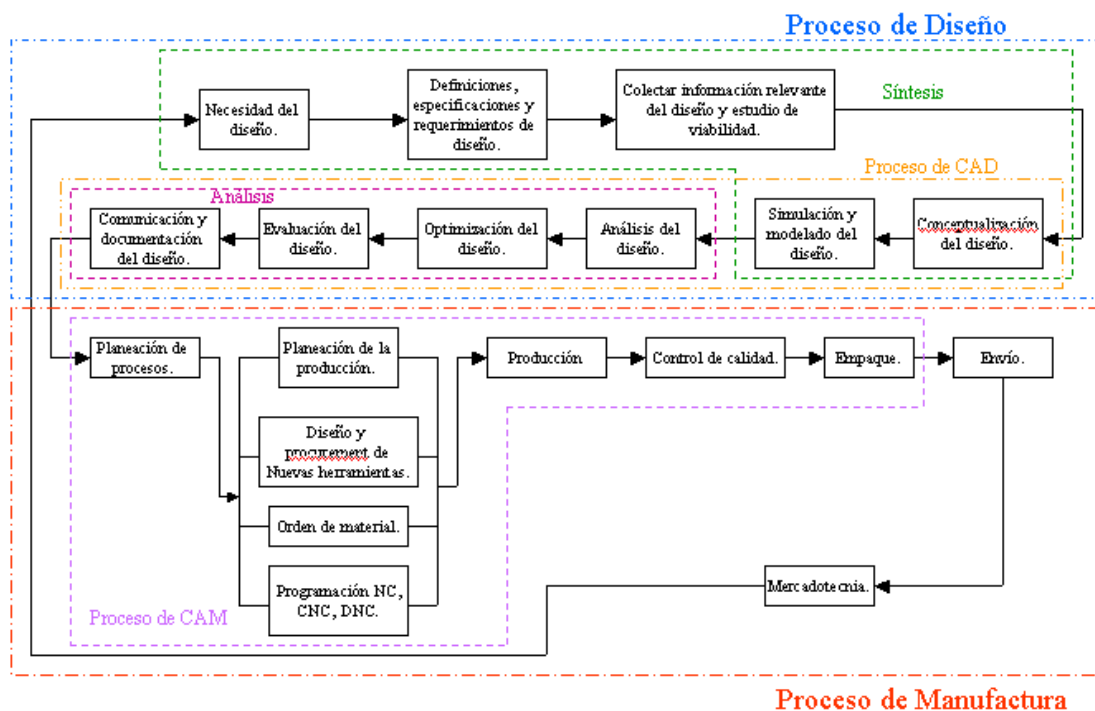


figura 1. Ciclo del producto en un ambiente de ingeniería secuencial [Zeid, 1991].

El producto comienza con la necesidad, la cual es identificada en base a las demandas de clientes y mercados. El producto atraviesa por dos grandes procesos desde la conceptualización de la idea hasta el producto final: El proceso de diseño y el proceso de manufactura.

Síntesis y análisis son los principales subprocesos que constituyen el proceso de diseño. La filosofía, funcionalidad, y características propias del producto, son determinadas durante la síntesis. Los principales compromisos financieros para llevar la idea del producto a la realidad también son hechos en este subproceso. La mayor parte de la información generada durante el subproceso de síntesis es cualitativa y consecuentemente difícil de capturar en un sistema de cómputo. Sistemas expertos y sistemas basados en conocimiento han hecho un gran progreso en este aspecto. La meta final del subproceso de síntesis es un diseño conceptual del producto. Típicamente, este diseño toma la forma de un bosquejo o una representación que muestra las relaciones entre las varias partes del producto, así como también las limitaciones del entorno. Este bosquejo también es empleado durante la lluvia de ideas entre varios equipos de diseño y para propósitos de presentación.

El subproceso de análisis comienza con un intento para poner el diseño conceptual dentro del contexto de las ciencias abstractas de ingeniería para evaluar el funcionamiento del producto esperado. Esto constituye el modelado de diseño y simulación. La calidad de los resultados y las decisiones involucradas en las actividades a seguir, tales como análisis del diseño, optimización y evaluación, están directamente relacionadas y limitadas por la calidad del modelo de diseño elegido. Es responsabilidad del diseñador asegurar que el modelo elegido para un diseño en particular sea el adecuado. Una característica importante del subproceso de análisis es el escenario “que pasa si”, el cual es de gran valor en situaciones de diseño donde soluciones analíticas no existen. En un ambiente de cómputo, donde varias alternativas de diseño pueden ser investigadas, es ideal para tomar las mejores decisiones de diseño en periodos cortos de tiempo. Algoritmos para análisis y optimización del diseño pueden ser implementados y utilizados. Aunque la optimización del diseño puede ser incrustada en el análisis de diseño, es identificada como una fase separada en la figura para enfatizar su importancia en el proceso de diseño. Una vez que la mayoría de los elementos del diseño han sido analizados y sus dimensiones nominales han sido determinadas, comienza la fase de evaluación. Se pueden construir prototipos en un laboratorio o computadora para evaluar el diseño. Más a menudo los prototipos en computadora son utilizados debido a que son menos caros y más rápidos de generar. Estos también ayudan al diseñador a determinar otras dimensiones del producto que no son analizadas, así como también

finalizar aquellas que resultan del análisis empleando reglas de sentido común. El diseñador puede también generar listas de materiales, especificar tolerancias, y efectuar análisis de costos. La última fase del subproceso de análisis es la comunicación y documentación, las cuales involucran preparación de dibujos, reportes y presentaciones. Los dibujos son utilizados para producir planos que serán pasados al proceso de manufactura.

Las fases principales del proceso de manufactura también se muestran en la figura 1. Estas comienzan con la planeación de procesos y termina con el producto actual. La planeación de procesos es considerada la columna vertebral del proceso de manufactura desde que intenta determinar la secuencia más eficiente para producir el producto. Un planeador de procesos debe tener en cuenta los varios aspectos de manufactura para planear propiamente. El planeador trabaja típicamente con copias de planos y puede tener comunicación con el departamento de diseño para clarificar o solicitar cambios en el diseño final para adecuar los requerimientos de manufactura. El resultado de la planeación de procesos es un plan de producción, la obtención de herramientas, orden de material y programación de máquinas. La planeación de procesos del proceso de manufactura es análoga a la síntesis del proceso de diseño; esta involucra una considerable experiencia humana y decisiones, lo que lo hace difícil de computarizar. Sin embargo, la Planeación de Procesos Asistida por Computadora (CAPP) ha progresado significativamente.

Una vez que la fase de planeación de procesos está completa, la producción del producto comienza. Las partes producidas son inspeccionadas y normalmente deben pasar cierto estándar de control de calidad. Las partes que sobreviven la inspección son ensambladas, empaquetadas, etiquetadas y enviadas a los clientes. La retroalimentación del mercado es de gran valor para mejorar los productos. Estas retroalimentaciones son incorporadas dentro del proceso de diseño.

Las fases del proceso de diseño y manufactura que se muestran en la figura 1 sirven como base para definir lo que involucra al diseño y a la manufactura y consecuentemente las herramientas que un sistema de CAD/CAM debe proporcionar a los ingenieros. Para identificar estas herramientas propiamente, un proceso de CAD y otro de CAM han sido definidos en relación a los otros procesos. El proceso de CAD es

un subconjunto del proceso de diseño. Similarmente, el proceso de CAM es un subconjunto del proceso de manufactura [Zeid, 1991].

Como se ve en la figura 1 el proceso es secuencial, cada estado del desarrollo del producto comienza solo cuando el anterior es completado, a este enfoque se le conoce como ingeniería secuencial.

En este método secuencial, un cambio requerido en un estado de la etapa final causará retraso y costos adicionales en los estados anteriores. Adicionalmente, los estados subsecuentes serán retrasados hasta que el estado actual sea completado. Este enfoque fomenta un gran número de modificaciones y alteraciones en los últimos estados del desarrollo del producto, cuando es más costoso y difícil, como se muestra en la figura 2 [Syam and Menon, 1994].

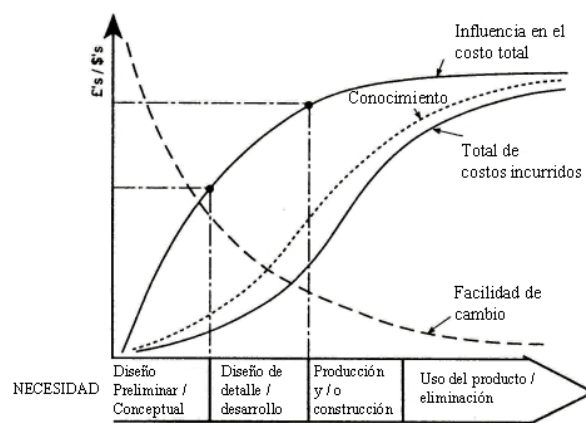


figura 2. Costos en las diferentes etapas en el ciclo de vida del producto.

Para evitar estos problemas, un nuevo enfoque de diseño ha surgido: La Ingeniería Concurrente.

## 2.2. INGENIERIA CONCURRENTE

En 1986, el Instituto para Análisis de la Defensa de los Estados Unidos (IDA) creó el término “ingeniería concurrente” para explicar el método sistemático del producto y el proceso de diseño, así como también procesos de apoyo y servicios. El reporte del IDA también dio una definición para la ingeniería concurrente:

“Ingeniería concurrente es un enfoque sistemático a la integración, diseño concurrente de productos y sus procesos relacionados, incluyendo manufactura y soporte. Este enfoque es dirigido a los desarrolladores desde el principio, para considerar todos los elementos del ciclo de vida del producto desde el concepto hasta su eliminación, incluyendo calidad, costo, inventario, y requerimientos de usuario.”

La ingeniería concurrente proporciona un enfoque sistemático e integrado para la introducción y diseño de productos.

La práctica efectiva de la Ingeniería Concurrente requiere de buena comunicación entre las distintas funciones asociadas con el ciclo de vida del producto. La información debe tener una propiedad común, ser compartida libremente y debe ser fácilmente accesible. La Ingeniería Concurrente es por lo tanto la integración de todos los recursos necesarios de la compañía para desarrollar un producto, incluyendo gente, herramientas y recursos, e información.

El propósito de la Ingeniería Concurrente es asegurar que las decisiones que sean tomadas durante el diseño de un producto resulten un mínimo de los costos generales durante el ciclo de vida. En otras palabras, esto significa que todas las actividades deben comenzar tan rápido como sean posibles, para inducir al trabajo en paralelo, lo cual adicionalmente reducirá el proceso de desarrollo del producto en general.

Los principales objetivos de la ingeniería concurrente pueden ser listados de la siguiente forma:

- ▶ Reducir el tiempo de planeación y producción del producto.
- ▶ Mejorar la rentabilidad.
- ▶ Incrementar la competitividad.
- ▶ Incrementar el control de los gastos de diseño y manufactura.
- ▶ Aproximar la integración entre departamentos.
- ▶ Aumentar la reputación de la compañía y sus productos.
- ▶ Mejorar la calidad del producto.
- ▶ Promover el trabajo de equipo.

La Ingeniería Concurrente puede ser practicada sin la ayuda de una computadora o utilizando cualquier técnica formal. Los miembros del equipo del proyecto pueden introducir su conocimiento y experiencia y obtener buenos resultados. Este tipo de Ingeniería Concurrente existe en compañías pequeñas quienes tienen gente muy especializada y experimentada en sus organizaciones. Sin embargo, no existe garantía de que la variedad del conocimiento esté disponible en todas las organizaciones, de ahí que es deseable proveer ayuda en varias tareas del desarrollo del producto para mejorar su desempeño.

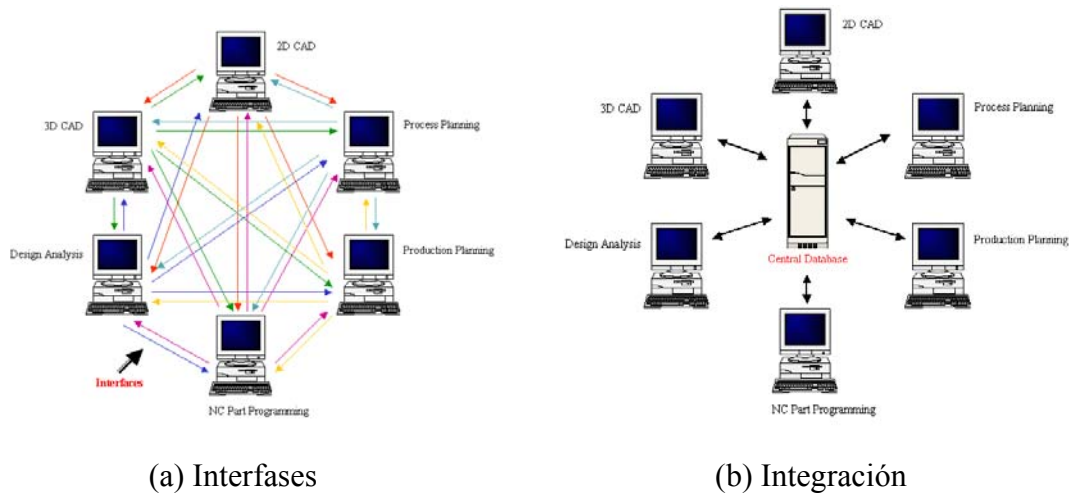
Existe también un gran número de información que necesita ser comunicada y esto puede hacerse de diferentes formas tal como dibujos, datos, texto electrónico, etc. Para compañías que tienen diferentes sitios, y aproximadamente 20 o más empleados, o compañías que son muy grandes, este nivel de comunicación puede ser difícil de lograr. De aquí que las redes, el intercambio electrónico de datos, y la asistencia de una computadora deben ser un pre-requisito para una práctica exitosa de Ingeniería Concurrente [Syan and Menon, 1994].

Dentro del ambiente de ingeniería concurrente existen herramientas que ayudan al diseño del producto y la manufactura, las cuales se conocen como herramientas o sistemas CAE (Ingeniería Asistida por Computadora).

Estos sistemas comprenden un amplio rango de áreas, sin embargo, tales sistemas tienen limitaciones críticas. Estos solo tienen geometría como su fuente central de información. Y aunque es muy importante, es solo un pequeño aspecto de la información requerida por los diseñadores para apoyar sus decisiones [Young and Bell, 1995].

Actualmente los sistemas CAD/CAM dependen extensivamente del usuario, con limitada información proveniente del sistema de cómputo. Esto es por dos razones principales: Las decisiones del usuario no se almacenan en el software, y la información sobre la cual el usuario basa sus decisiones es amplia y necesita interactuar con el proceso de tomar decisiones.

De aquí que los paquetes de software individuales que existían en 1970's se hayan cambiado a sistemas con interfaces en 1980's, y actualmente se tienda a crear sistemas integrados [Young and Bell, 1995].



**figura 3. Diferencia entre interfase e integración**

## 2.3 SISTEMAS CIM

La importancia de integrar CAD y CAM ha dado paso a la noción de la Manufactura Integrada por Computadora (CIM - Computer Integrated Manufacturing). La idea principal del CIM es establecer una base de datos común que almacene la enorme cantidad de información necesaria para que funcione una empresa. Basada en el típico ciclo del producto, la base de datos debe soportar todas las actividades de diseño y manufactura, y relacionar la información [Zeid, 1991].

El CIM permite a las empresas reunir niveles altos de objetivos que son inalcanzables en industrias parcialmente computarizadas. Los objetivos son los siguientes:

- ▶ Desarrollar productos con calidad a precios competitivos.
- ▶ Integrar y controlar las operaciones de diseño y manufactura.
- ▶ Administrar finanzas.
- ▶ Incrementar ventas controlando la demanda de productos.

La tecnología CIM está basada en un modelo de empresa que integra todas las operaciones y la administración funcional dentro de una red para optimizar la productividad y rentabilidad. En otras palabras, el CIM diseña celdas de trabajo apropiadas para las necesidades de la compañía [Amirouche, 1993].

La empresa tradicional está dividida en varios departamentos, y en la mayoría de los casos entidades separadas operan sobre ellos. La carencia de compartir información provoca doble trabajo, pérdida de tiempo, y elevados gastos. Para eliminar trabajo innecesario y redundante, el nuevo modelo de empresas depende de sus funciones para trabajar en armonía.

Existen muchos elementos a ser explorados para lograr satisfactorios sistemas integrados. Dos de los elementos clave son la representación de información sobre la cual se basarán las decisiones, y la exploración de módulos de software funcional, los cuales podrán actuar sobre esta información, para proporcionar información necesaria para los ingenieros de diseño y manufactura.

Ham y Liu [Liu and Fischer, 1993] identifican que varios problemas deben ser resueltos antes de que los sistemas sean realmente integrados, señalando 4 problemas básicos de software con los cuales indican la necesidad de una base de datos común:

- 1) El problema combinacional (El número de interfaces crece con el incremento del número de sistemas)
- 2) El problema de la redundancia e inconsistencia (almacenamiento múltiple de información, diferentes estados de actualización)
- 3) El problema del software (no-acceso a las estructuras de datos, los algoritmos no están disponibles)
- 4) El problema del modelo (diferentes modelos en diferentes sistemas)

Ham y Liu identifican que los problemas de integración pueden ser resueltos por una planeación precisa de las estructuras del modelo. Si las estructuras de los modelos son congruentes no es necesario almacenarlas en diferentes sistemas. Esto conduce a la necesidad de un modelo de producto común [Young and Bell, 1995].



Técnicas para estructurar la información y entender el flujo de información dentro de los procesos de diseño y manufactura son importantes en la construcción de bases de datos para crear modelos de diseño y manufactura [Young and Bell, 1995]. Estas técnicas serán tratadas en el capítulo 3.

## 2.4. BASES DE DATOS

### 2.4.1. INTRODUCCIÓN A LAS BASES DE DATOS

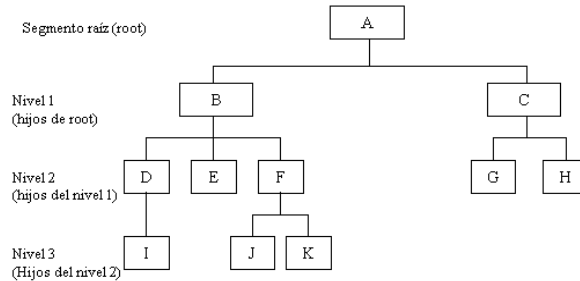
La tecnología de bases de datos es utilizada en una variedad de aplicaciones. Algunas sirven solamente a un usuario en una sola computadora, otras son utilizadas por grupos de trabajo de veinte o treinta personas en una red de área local, y otras más son utilizadas por cientos de usuarios e involucran una gran cantidad de datos. Los componentes de una aplicación de bases de datos son: La base de datos, el manejador de la base de datos (DBMS), y los programas de aplicación [Kroenke, 1995].

Un DBMS es una colección de programas que manejan la estructura de la base de datos y controla el acceso a los datos almacenados dentro de la misma. Los programas de aplicación pueden ser escritos por un programador, o pueden ser creados a través de las utilerías del manejador de la base de datos.

Las primeras aplicaciones de bases de datos utilizaron sistemas de archivos para guardar la información. Estos sistemas evolucionaron a bases de datos jerárquicas y de red, y posteriormente a bases de datos relacionales, y actualmente se cuentan con nuevas tecnologías en bases de datos.

## 2.4.2. MODELO JERÁRQUICO

Una base de datos jerárquica es una colección de registros que están organizados para conformar una estructura de árbol, como la que se muestra en la figura 4.



**figura 4. Componentes de una estructura jerárquica.**

Dentro de la jerarquía, el nivel superior (la raíz) se conoce como el padre del segmento debajo de él. De esta manera el segmento A es el padre de los segmentos B y C. De manera similar, el segmento B es el padre de los segmentos D, E y F, mientras que el segmento C es el padre de los segmentos G y H. Los segmentos debajo de otros segmentos son los hijos de los segmentos arriba de ellos. Es decir, los segmentos D, E y F son los hijos del segmento B, que a su vez, es el hijo del segmento A. Similarmente, el segmento I es el hijo del segmento D, y así sucesivamente.

Teniendo en cuenta que la estructura de árbol que se muestra en la figura 4 no puede ser almacenada en una computadora así como se muestra, el árbol está definido por una ruta, que traza los segmentos padre a los segmentos hijo, comenzando por el lado izquierdo. Esta secuencia ordenada de segmentos para trazar la estructura jerárquica es conocida como ruta jerárquica. Por ejemplo, la ruta jerárquica para el segmento K en la figura 4 es:

A-B-D-I-E-F-J-K

La ruta marca todos los segmentos a partir de la raíz, comenzando en el segmento más a la izquierda. Esta ruta es conocida como pre-orden transversal o secuencia jerárquica. Dada tal ruta, los diseñadores deben asegurarse que los segmentos más frecuentemente accedidos y sus componentes estén localizados más cerca del lado izquierdo del árbol.

En la estructura de la figura 4 se pueden apreciar algunas relaciones importantes:

⇒ Cada padre puede tener varios hijos.

⇒ Cada hijo solo puede tener un padre.

Estas relaciones son conocidas como relaciones uno a muchos (1:M) [Rob and Coronel, 1993].

Ventajas :

1. Desde que todos los datos se encuentran en una base de datos común, el compartir datos se vuelve práctico, y el DBMS proporciona seguridad.
2. EL DBMS crea un ambiente en el cual la independencia de datos se mantiene, en consecuencia gran parte de los esfuerzos de programación y mantenimiento del programa se reducen.
3. Dada la relación padre-hijo, existe siempre una relación entre el segmento padre y su(s) segmento(s) hijo(s). El segmento hijo siempre está referenciado a su segmento padre, el modelo jerárquico promueve la integridad de la base de datos.
4. El modelo jerárquico tiende a ser muy eficiente cuando una base de datos contiene una gran cantidad de información en relaciones 1:M y cuando los usuarios requieren un gran número de transacciones, utilizando datos cuyas relaciones son preparadas con tiempo limitado.

Desventajas:

1. Cualquier cambio en la estructura de la base de datos, provoca cambios en todos los programas de aplicación que accesan a la base de datos. Por lo cual el diseño de una base de datos puede llegar a ser muy complicado.
2. Muchas relaciones comunes no conforman el estándar requerido por el modelo jerárquico (relaciones 1:M). Relaciones muchos a muchos (M:N) son difíciles de implementar en un modelo jerárquico.
3. La condición de dos padres no puede ser implementada fácilmente en el modelo jerárquico.
4. Una base de datos jerárquica tiende a ser compleja de administrar, y tiende a perder flexibilidad. A pesar de que se pueden hacer cambios (nuevas relaciones o nuevos segmentos), tales cambios tienden a producir tareas complicadas de administración. Es posible que la eliminación de un segmento elimine involuntariamente todos los segmentos debajo de él, y este error puede ser extremadamente costoso.

5. Las aplicaciones tienden a ser más extensas. Los programadores deben conocer como escribir el código de control para acceder los datos y debe estar familiarizado con la estructura de la base de datos. Una base de datos jerárquica es conocida también como un sistema de navegación porque el acceso a los datos requiere que el pre-orden transversal sea usado para “navegar” hacia los segmentos apropiados. Dentro del sistema de navegación, el programador necesita conocer el acceso a rutas de ciertos segmentos (el registro padre debe ser accesado primero, para acceder a los registros hijos) y obtener información de la base de datos. Modificaciones en la estructura pueden ocasionar problemas con los programas de aplicación que estuvieran funcionando bien antes de los cambios. La independencia de los datos es limitada por la dependencia estructural.
6. A pesar de que el modelo jerárquico básico es incorporado a una gran cantidad de software de bases de datos, no es un conjunto de conceptos estándar. Y moverse de un DBMS jerárquico a otro no es fácil, es decir, su portabilidad es limitada.
7. Quizás la crítica más fuerte a las bases de datos jerárquicas es que requieren extensas actividades de programación. De hecho, se les ha considerado que son “sistemas creados por programadores para programadores”.

### **2.4.3. MODELO DE RED**

El modelo de red fue creado en parte para aplicarse a la necesidad de representar relaciones de datos complejas más efectivamente que en el modelo jerárquico, en parte para mejorar el desempeño de la base de datos, y en parte para imponer un estándar de bases de datos. La carencia de un estándar en bases de datos fue problemático para los programadores y diseñadores de aplicaciones debido a que esto ocasionaba diseños de bases de datos y aplicaciones menos portables. Por si fuera poco, la carencia de un conjunto de conceptos de bases de datos daña la búsqueda para mejores modelos de bases de datos.

Para ayudar a establecer estándares de bases de datos, una junta fue convocada en 1971 por el grupo CODASYL (CONference on DATA SYstems Languages). El grupo CODASYL originalmente fue integrado por usuarios y fabricantes de computadoras

para crear un estándar para COBOL. Las recomendaciones de CODASYL fueron aceptadas por el American National Standards Institute (ANSI) como el estándar de COBOL, por ello se creó el ANSI COBOL. Dado el éxito en desarrollar el estándar de COBOL, y esperando realizar un servicio similar en el área de bases de datos, el grupo CODASYL creó el Grupo de Trabajo sobre Bases de Datos (Database Task Group - DBTG). El DBTG fue encargado de definir las especificaciones estándares para un ambiente que facilitaría la creación de las bases de datos y la manipulación de datos. El reporte final del DBTG contenía especificaciones para tres componentes cruciales de las bases de datos:

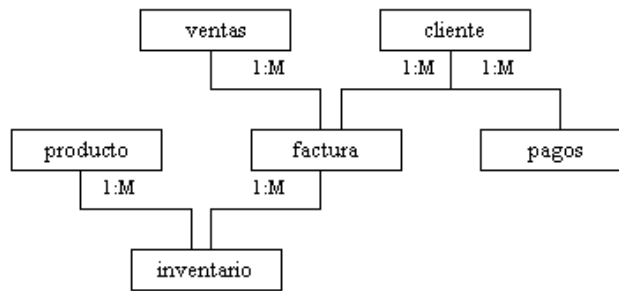
1. El esquema de red. La organización conceptual de la base de datos completa como la visualiza el administrador de la base de datos. Esta incluye una definición del nombre de la base de datos, tipo de registro para cada uno de los registros, y los componentes que integran a esos registros.
2. El sub-esquema, el cual define la porción de la base de datos “as seen” por los programas de aplicación que actualmente producen la información deseada a partir de los datos contenidos dentro de la base de datos. La existencia de un sub-esquema permite a todos los programas de aplicación simplemente llamar al sub-esquema requerido para acceder la información apropiada.
3. Un lenguaje de administración de datos para definir las características y estructuras de los datos, y para manipular la información.

Para obtener la estandarización deseada para cada uno de los tres componentes, el DBTG especificó tres componentes distintos para el lenguaje de administración de datos:

1. Un esquema de lenguaje de definición de datos (Data Definition Language – DDL), el cual habilita al administrador de la base de datos a definir los componentes del esquema.
2. Un sub-esquema DDL, el cual permite a los programas de aplicación definir los componentes de la base de datos que serán utilizados.
3. Un lenguaje de manipulación de datos (Data Manipulation Language – DML) para manipular el contenido de la base de datos [Rob and Coronel, 1993].

El modelo de red utiliza una estructura de red o plex. Esta estructura permite a un nodo tener más de un padre. Los nodos de la red representan registros de varios tipos. Las

relaciones entre los registros están representadas por ligas (apuntadores) [Ricardo, 1990].



**figura 5. Estructura del modelo de red.**

Ventajas:

El modelo de red mantiene muchas de las ventajas del modelo jerárquico, y corrige o mejora muchas de las deficiencias que se tenían:

1. Las relaciones M:N son más fáciles de implementar que en el modelo jerárquico.
2. El tipo de acceso a los datos y la flexibilidad son superiores a los del modelo jerárquico y sistemas de archivos.
3. El modelo de red impone la integridad de la base de datos debido a que se define primero el registro propietario y luego el registro miembro.
4. El modelo de red consigue suficiente independencia de los datos para al menos parcialmente aislar los programas de detalles de almacenamiento físico complejo. Por consiguiente, los cambios en las características de los datos no requieren cambios en los programas de aplicación.

Desventajas:

Las bases de datos son difíciles de diseñar y usar propiamente. El usuario debe estar muy familiarizado con la estructura de la base de datos para tomar ventaja de la eficiencia del sistema.

1. Es difícil hacer cambios dentro de la base de datos, y algunos cambios son imposibles de hacerse. Si los cambios son hechos a la estructura de la base de datos, todas las definiciones de sub-esquema deben ser revalidadas antes de que cualquier programa de aplicación pueda acceder a la base de datos. En pocas palabras, a pesar de que el modelo de red logra independencia en los datos, no logra independencia en la estructura.
2. El modelo de red proporciona una estructura muy compleja desde el punto de vista de los programadores. En consecuencia, el programador debe estar

familiarizado con las estructuras internas en orden para acceder a la base de datos.

3. Como el modelo jerárquico, el modelo de red proporciona un ambiente de navegación para tener acceso a los datos, en el cual los datos son accedidos de un registro a la vez.

Este modelo no fue diseñado para brindar un sistema amigable al usuario, y es orientado hacia programadores altamente calificados. Varios avances se han llevado a cabo para hacer al modelo de red más fácil de usar. La mayoría de estos avances están basados en el modelo relacional.

#### **2.4.4. MODELO RELACIONAL**

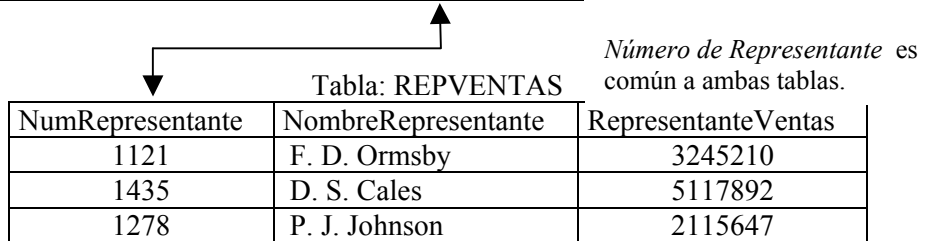
En 1970, E. F. Codd (de IBM) publicó un trabajo en el cual aplicaba conceptos de una rama matemática llamada álgebra relacional al problema de almacenar grandes cantidades de datos. El trabajo de Codd comenzó un movimiento en la comunidad de bases de datos, que en pocos años introdujo la definición de Modelo Relacional de Bases de Datos. Este modelo es una forma particular de estructurar y procesar una base de datos [Kroenke, 1995].

El modelo de base de datos relacional está implementado por medio de un sofisticado sistema administrador de bases de datos relacionales (Relational DataBase Management System – RDBMS). El RDBMS ejecuta las mismas funciones básicas proporcionadas por los modelos jerárquico y de red, más una variedad de funciones que hacen al modelo relacional más fácil de entender e implementar.

La base de datos relacional es percibida por el usuario como una colección de tablas, dentro de las cuales los datos son almacenados. Cada tabla es una matriz consistente de una serie intersecciones de renglones y columnas. Las tablas, también llamadas relaciones, están relacionadas unas a otras por una entidad común. Por ejemplo, una tabla CLIENTES puede contener un número de representante de ventas que está también contenido dentro de la tabla REPVENTAS.

Tabla: CLIENTES

NumCliente	NombreCliente	TelCliente	NumRepresentante
100123	J. B. Hardy	6158921215	1435
100124	D. D. McCall	9031324331	1121
100125	W. K. Deraso	6158213461	1278
100126	B. B. Tumbawa	6155342879	1435



**figura 6. Modelo Relacional**

La liga común entre las tablas CLIENTES y REPVENTAS nos permite relacionar al cliente con su representante de ventas.

Las tablas son independientes unas de las otras, y se pueden relacionar fácilmente los datos entre las tablas. El modelo relacional proporciona un nivel mínimo de redundancia controlada para eliminar la mayoría de las redundancias comúnmente encontradas en los sistemas de archivos.

Una tabla relacional almacena una colección de entidades relacionadas. El como están físicamente almacenados los datos dentro de las tablas no concierne al usuario o al diseñador, la percepción es que hay ahí. Y esta propiedad del modelo relacional, se convirtió en la fuente de una verdadera revolución en bases de datos.

Ventajas:

El modelo relacional de bases de datos logra independencia en la estructura de la base de datos y en los datos. A continuación se muestran las comparaciones de independencia entre los diferentes modelos.



**Tabla 1. Comparación de “independencia” entre las bases de datos y los sistemas de archivos.**

	Independencia de datos	Independencia estructural
Sistema de archivos	NO	NO
Base de Datos Jerárquica	SI	NO*
Base de Datos en Red	SI	NO*
Base de Datos Relacional	SI	SI

\* La independencia estructural existe cuando se tiene la disponibilidad de hacer cambios al esquema de la base de datos sin afectar la habilidad del DBMS para acceder la información. En ambos casos, cualquier cambio en la estructura de los árboles afecta las rutas de acceso a los datos, por lo cual se requieren cambios en todos los programas de acceso.

Gracias a la independencia en los datos y en la estructura, es más fácil diseñar la base de datos y administrar su contenido.

Una de las razones por la cual las bases de datos relacionales dominaron en el mercado de bases de datos es su poderosa y flexible capacidad de búsqueda. Las bases de datos relacionales tienen un poderoso lenguaje conocido como Structured Query Language – SQL, pronunciado por algunos como “sequel” y por otros “S-Q-L”. Al mismo tiempo es conocido como lenguaje de cuarta generación (4GL). Un 4GL permite al usuario especificar que se debe hacer sin especificar como se debe hacer. El RDBMS utiliza SQL para traducir las peticiones del usuario en detalles técnicos requeridos para obtener la información solicitada. Por consiguiente, las bases de datos relacionales tienden a requerir menos programación que cualquiera de los modelos anteriores.

Desventajas:

El RDBMS requiere de una computadora más poderosa para ejecutar todas las tareas asignadas, ya que es mucho más complejo que un manejador de bases de datos de un modelo jerárquico o de red.

Por otro lado, el rápido crecimiento de las capacidades de software y el continuo mejoramiento de los sistemas operativos están logrando que los sistemas de bases de datos relacionales ya no tiendan a ser más pequeños que otros sistemas de bases de datos.

## 2.4.5. MODELO ORIENTADO A OBJETOS

A finales de los años 1980s y principios de los años 1990s se incrementa cada vez más la necesidad de almacenar datos complejos que son difíciles de mantener con tecnología relacional.

El tamaño de las bases de datos y sus composiciones (ahora pueden incluir gráficos, video, y sonido, así como también números y texto) invitaron a una reorganización de los sistemas de información existentes. Esta reorganización da lugar al surgimiento de nuevas tecnologías de bases de datos basadas en la orientación a objetos.

Los sistemas orientados a objetos son normalmente asociados con aplicaciones que obtienen su fuerza de interfaces de usuario gráficas, poderosas técnicas de modelado, y avanzadas capacidades de manejo de datos.

El principal problema en definir un modelo de datos orientado a objetos es que no hay un modelo orientado a objetos estándar. Sin embargo, la mayoría de los investigadores encuentran difícil describir un conjunto de características que un modelo de datos debe tener para que pueda ser considerado un modelo de datos orientado a objetos:

1. Debe soportar la representación de objetos complejos.
2. Debe ser extensible. Esto es, debe ser capaz de definir nuevos tipos de datos así como también las operaciones a ser ejecutadas sobre ellos.
3. Debe soportar la encapsulación, esto significa que la representación de los datos y la implementación de los métodos deben estar ocultas de las entidades externas.
4. Debe exhibir herencia. Un objeto debe ser capaz de heredar propiedades (datos y métodos) de otros objetos.
5. Debe ser capaz de soportar la noción de identidad de objeto (object identity - OID). Esto es, cada objeto tiene su identidad, la cual es única para cada objeto [Rob and Coronel, 1993].

La diferencia más obvia entre las bases de datos tradicionales y las bases de datos orientadas a objetos es que los objetos pueden interactuar con otros objetos y consigo mismos.

Otra gran diferencia es la identidad de objetos. Los manejadores de bases de datos orientadas a objetos son sistemas basados en identidad.

La abstracción de datos y la encapsulación atraen a las aplicaciones complejas o de multimedia.

Otra característica es la herencia, que permite reutilizar el código y compartir datos dentro del sistema.

Las bases de datos orientadas a objetos no hacen obsoletas a sus predecesoras, existen áreas donde las bases de datos relacionales son más adecuadas.

Ventajas:

1. El modelo de base de datos orientada a objetos permite una representación más natural y real de los objetos del mundo real.
2. Soporta objetos complejos, lo cual las hace deseables en áreas de aplicación especiales, por ejemplo CAD, CAM, y ambientes multimedia.
3. La reutilización de las clases permite un desarrollo más rápido y un mantenimiento más fácil de la base de datos y sus aplicaciones.

Desventajas:

1. Están basadas en una nueva tecnología, la cual está en su etapa de crecimiento.
2. La novedad de la tecnología produce carencia de estándares.
3. Aprender a diseñar y manejar bases de datos orientadas a objetos involucra una cantidad de tiempo considerable.
4. Existe poca gente capacitada para hacer uso del gran poder de la tecnología orientada a objetos.
5. La mayor parte de la tecnología se enfoca a aplicaciones de ingeniería.
6. Solo compañías con la combinación adecuada de recursos (dinero, tiempo, y personal calificado) pueden permitirse investigar la tecnología orientada a objetos.

Las bases de datos orientadas a objeto tienen sus propias estructuras y lenguajes. Algunos ejemplos de bases de datos orientadas a objetos son Gemstone, Itasca, Jasmin, O<sub>2</sub>, Objectivity, ObjectStore, ORION y Versant [Teorey, 1999].

### 3. MODELOS DE INFORMACIÓN

Un modelo es una abstracción de algo con el propósito de entenderlo antes de construirlo. Por cientos de años, ingenieros, artistas y artesanos han creado modelos para tratar de representar sus ideas antes de ejecutarlas.

Los desarrolladores de software y hardware no son la excepción, el desarrollador debe abstraer diferentes vistas del sistema, construir modelos utilizando notaciones precisas, verificar que los modelos satisfagan los requerimientos del sistema, y gradualmente agregar detalles para transformar el modelo en una implementación.

De acuerdo a la Organización de Estándares Internacionales [International Standards Organisation, 1997], un modelo es una representación o descripción de una entidad o un sistema, describiendo solo los aspectos considerados relevantes en el contexto de su propósito.

Se han desarrollado diferentes métodos para asistir en el modelado de diferentes aspectos de los sistemas de información. Molina [Molina, Ellis et al., 1995] los ha clasificado en cuatro grupos:

- ▶ Métodos de modelado de datos
- ▶ Métodos de modelado de procesos
- ▶ Métodos de modelado de comportamiento
- ▶ Métodos de modelado híbridos

Los métodos de modelado de datos permiten la descripción de la estructura de información relevante para un sistema en un formato independiente de la implementación llamado “modelo de información”. Los métodos de modelado de datos han derivado principalmente en asistir al diseño de bases de datos.

Dentro del contexto de la Manufactura Integrada por computadora (CIM), el modelado de datos representa la información relevante que una empresa necesita para cumplir su misión. En el ciclo de vida de un producto, la información es uno de los aspectos más

críticos, su modelado es esencial para permitir a los diseñadores trabajar en un medio concurrente.

Los métodos de modelado de procesos proporcionan la descripción de cómo ciertas actividades son llevadas a cabo.

Los métodos de modelado de comportamiento están relacionados con el comportamiento dinámico de un sistema. Es decir, que está pasando a través del tiempo.

Los métodos de modelado híbridos permiten que un sistema sea descrito por medio de una combinación de los métodos mencionados. El objetivo de estos métodos de modelado es caracterizar objetos del mundo real tan completa y realmente como sea posible.

Molina [Molina, Ellis et al., 1995] y otros investigadores consideran que la información necesaria para soportar las funciones de diseño y manufactura de una empresa puede ser capturada y representada por medio de dos modelos de información:

- ▶ Modelo del Producto
- ▶ Modelo de Manufactura

### 3.1. MODELO DEL PRODUCTO

Una base de datos que puede almacenar toda la información relacionada al producto es conocida como “Modelo del Producto”.

La estructura del modelo del producto depende de la naturaleza del producto y de las herramientas utilizadas para modelar la información. El contenido del modelo del producto depende del producto en particular. Es impráctico tratar de crear un modelo del producto genérico debido a que los modelos contienen datos específicos [McKay, 1991],[Krause, Kimura et al., 1993], [Dorador, 2001]. El modelo del producto debe estar estructurado de manera que las aplicaciones sepan donde encontrar y almacenar la información [MOSES, 1992], [Krause, Kimura et al., 1993], [Dorador, 2001].

Los sistemas de software que asisten al diseñador en las etapas del diseño necesitan información acerca del producto para desempeñar su trabajo. Parte de esta información es específica para cada software de aplicación, pero otra parte de ella puede ser compartida para evitar la duplicación de información entre sistemas [Baxter, 1994].

Existen varias definiciones para el modelo del producto, la definición que se utilizará en este trabajo es la siguiente: “Un modelo del producto es una representación legible en computadora de toda la información relacionada al producto” [Young and Bell, 1995].

Para mantener disponible la información necesaria durante el ciclo de vida del producto, es necesario modelarla. Los modelos de información ayudan al diseñador a validar nuevos diseños y comunicarlos al diseñador de procesos de producción [Pels, 1996].

La razón para el desarrollo de modelos de información fue la introducción de una base de datos central para almacenar la información en lugar de utilizar archivos creados por las aplicaciones con estructuras específicas que hacen difícil el intercambio de información [Pels, 1996].

Todos los procesos de ingeniería dentro de una empresa utilizan y crean información. El modelo del producto es la representación central de la cual todas las aplicaciones obtienen y almacenan información referente al producto.

De acuerdo a Krause [Krause, Kimura et al., 1993], la tecnología de modelado de un producto debe satisfacer los siguientes requerimientos básicos:

1. Presentar datos reales: La misma información debe estar disponible en diferentes fases del proceso y permitir el acceso concurrente a los datos.
2. Proporcionar documentación del producto: Mantener disponibles los resultados intermedios y finales del producto.
3. Ofrecer decisiones alternas: Soportar la representación y exploración de alternativas del producto y procesos para reducir las iteraciones de costos e incrementar la flexibilidad del producto.

De acuerdo a van Der Net [Van Der Net, De Vries et al., 1996], un Modelo del Producto debe satisfacer tres necesidades básicas:

1. Crear una descripción consistente del producto para todos los estados en el diseño y la manufactura.
2. Capturar y registrar el “intento de diseño”.
3. Habilitar el análisis de manufacturabilidad cuando se está diseñando.

Como se ve, Krause y Van Der Net mencionan la importancia de capturar la información acerca del producto y la manufactura.

Krause presenta una clasificación del trabajo realizado en Modelos del Producto, y clasifica estos en las siguientes cinco categorías:

#### MODELOS DEL PRODUCTO ORIENTADOS A ESTRUCTURA

La descripción de la estructura del producto -como las partes que conforman al producto- es el centro de los modelos del producto orientados a estructura. Esta estructura puede ser representada como una lista de materiales. Con este enfoque, una aplicación integrada de módulos funcionales de diferentes sistemas no es posible y la redundancia de los datos no está disponible. A pesar de sus limitaciones, los modelos del producto orientados a estructura proporcionan algunas soluciones en la integración de los modelos del producto.

#### MODELOS DEL PRODUCTO ORIENTADOS A LA GEOMETRÍA.

La representación geométrica de los modelos de producto utilizando modelos de alambres, superficies, sólidos y modelos híbridos pueden ser utilizados como modelos para representar la forma de un producto. Esta representación es utilizada típicamente como parte de un sistema CAD y proporciona las bases para aplicaciones de Control Numérico o Análisis por Elemento Finito. Dado que estos modelos están creados para representar geometría, su extensión a datos no geométricos es limitada.



## MODELOS DEL PRODUCTO ORIENTADOS A CARACTERÍSTICAS.

La definición de característica (feature) que se utilizará en este trabajo será la siguiente: “Una característica es cualquier atributo geométrico o no geométrico de una parte cuya presencia o dimensión sea relevante para el funcionamiento de partes o del producto, manufactura, ingeniería, análisis, uso, etc., o cuya disponibilidad como primitivo u operación facilite el proceso de diseño” [De Fazio and The Design Automation Committee, 1993].

En los Modelos del Producto basados en la geometría de sus partes el diseñador solo puede almacenar alguna información general, tal como la geometría o topología del producto, la posición y orientación, y simples relaciones entre partes. Información relevante se pierde en ese proceso e información similar debe ser creada de nuevo utilizando programas de análisis para la planeación de sujetar, la planeación de movimiento, análisis de estabilidad, etc. [Van Holland and Bronsvoort, 1996].

Se pueden distinguir características de diseño y manufactura. Las características de diseño ayudan al diseñador a comunicar ideas. Las características de manufactura están definidas como la interpretación y combinación de características de forma desde el punto de vista de manufactura, ensamble e inspección. Las características de diseño están construidas combinando formas dependiendo de su posición en la pieza de trabajo.

Bradley y Maropoulos [Bradley and Maropoulos, 1997] identifican tres tipos principales de características: funcionales, de manufactura, y características estéticas. Las características funcionales se utilizan principalmente en el estado conceptual del diseño, mientras que las características de manufactura y estéticas son adicionadas en el estado detallado del diseño. En las etapas conceptual y de configuración del proceso de diseño, las relaciones de las características no están completamente definidas. Sin embargo, en las actividades de rediseño del estado detallado, la relación de característica permite modificaciones del diseño sin cambiar la estructura del modelo. El modelado por características permite la captura de un alto nivel de información, tales como formas, funciones, material, propiedades, parámetros tecnológicos, intento de diseño, manufactura de precisión, etc. Esta información es esencial en el producto concurrente y en el proceso de diseño.

#### MODELOS DEL PRODUCTO BASADOS EN CONOCIMIENTO.

Estos modelos utilizan técnicas de Inteligencia Artificial (AI) como programación orientada a objetos, razonamiento basado en reglas, y sistemas restringidos. A través del empleo de estas técnicas es posible almacenar explícitamente la habilidad humana así como también la experiencia concerniente a productos, procesos o ambientes industriales.

El enfoque seguido por Kjellberg y Schmekel [Kjellberg and Schmekel, 1992] utiliza gráficas conceptuales para representar el Modelo del Producto, dividiendo este en modelo de función, modelo físico y modelo de solución. Cada uno de estos modelos representa diferentes aspectos del producto. Cada modelo tiene su propia estructura, la cual difiere de las otras. Dentro de los modelos existen interrelaciones que pueden ser clasificadas como de igualdad, similitud, dependencia o inconsistencia. Estas relaciones pueden ser definidas implícita o explícitamente. Las relaciones implícitas están definidas por reglas o procedimientos.

#### MODELOS DEL PRODUCTO INTEGRADOS.

Estos modelos cubren las habilidades de los modelos orientados a geometría, características, estructura y conocimiento. Todo tipo de información del producto puede ser almacenada dentro del modelo del producto integrado. Debido a la orientación semántica de estos sistemas, el conocimiento genérico del producto toma los diferentes estados del ciclo de vida del producto a consideración, proporcionando un soporte integrado del desarrollo del producto durante todo su ciclo de vida [McKay, Bloor et al., 1996] [Dorador, 2001].

Un intento para integrar sistemas fue utilizar protocolos para transferir información entre ellos; el problema fue la incompatibilidad de los sistemas. Algunos estándares neutrales como IGES y DXF fueron desarrollados para solucionar el problema, pero surgió el problema del manejo de la información. Algunos sistemas administradores de datos del producto (Product Data Management - PDM) fueron desarrollados en un intento de tener un sistema para el intercambio de información entre sistemas.

Los PDM integran y manejan procesos, aplicaciones e información que define productos a través de múltiples sistemas y medios. Los sistemas PDM proporcionan una estructura en la cual todos los tipos de información utilizada desde el diseño hasta la manufactura y el soporte al usuario final están integrados, almacenados, administrados y controlados. Estos intentos no fueron la solución al problema porque si la información se modificaba en una aplicación permanecía sin cambios en todas las aplicaciones restantes.

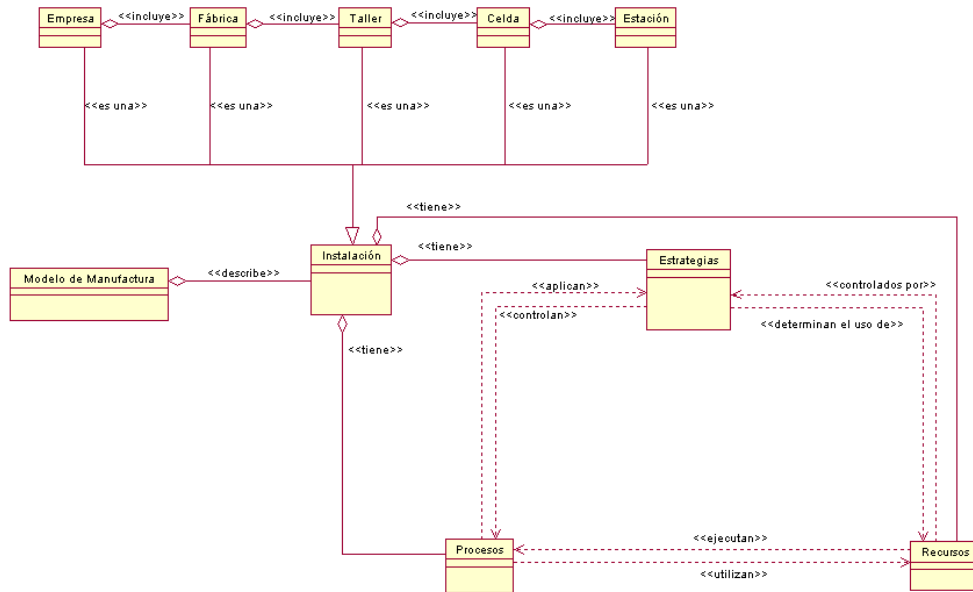
### 3.2. MODELO DE MANUFACTURA

El término Modelo de Manufactura es utilizado para definir, describir y capturar la situación de manufactura de una empresa en particular [Young and Bell, 1995], [Molina, 1995]. El objetivo principal del modelo de manufactura es proporcionar a los diseñadores e ingenieros de manufactura una alta calidad de información de manufactura sobre la cual ellos basarán sus decisiones.

El modelo de manufactura ha sido dividido en recursos, procesos y estrategias para llevar a cabo aplicaciones generales y proporcionar una fuente consistente de información de manufactura para usuarios y aplicaciones. Los recursos son elementos físicos dentro de una instalación que habilita la realización del producto. Los procesos explican el uso de los recursos. El uso de los recursos y procesos proporcionan una representación consistente de las instalaciones de manufactura y sus capacidades. En adición, las estrategias están representadas como la manera en que las decisiones son tomadas sobre el uso y organización de los recursos y procesos [MOSES, 1992], [Molina, 1995].

La estructura básica del Modelo de Manufactura se presenta en la figura 1, utilizando el lenguaje UML (ver apéndice C).

La estructura está dividida en niveles funcionales para permitir la captura de la función de manufactura y su comportamiento. Estos niveles son Empresas, Fábricas, Taller, Celda y Estación. Esta estructura es adaptada del proyecto MOSES [Model-Oriented Simultaneous Engineering Systems), del cual se hablará más adelante.

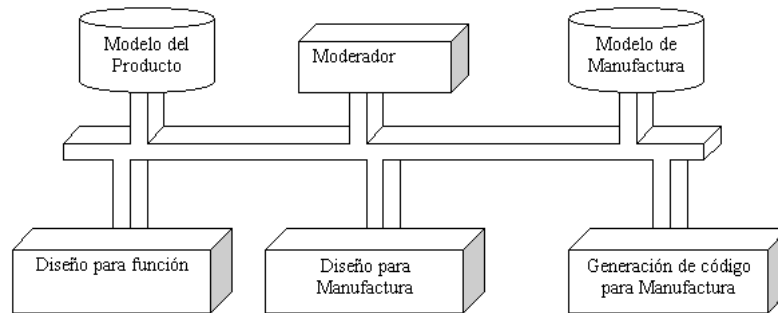


**figura 1. Estructura Básica del Modelo de Manufactura utilizando notación UML[Dorador, 2001]**

La clase *empresa* fue incluida para dar al modelo de manufactura la posibilidad de capturar información de más de una fábrica, como se requiere en el modelado de empresas globales.

El modelo de manufactura en el proyecto MOSES fue concentrado principalmente en la representación del nivel de estaciones y en particular en la representación de procesos y recursos y sus interrelaciones en este nivel. Esta investigación produjo implementaciones parciales de Modelos de Manufactura relacionados a maquinado e instalaciones y al proceso de inyección de moldes [Young and Bell, 1995], [Molina, Al-Ashaab et al., 1994].

El Modelo de Manufactura contiene la información para soportar el ciclo de vida del producto completo, permitiendo compartir la información común entre aplicaciones de software. La arquitectura general del proyecto MOSES se presenta en la figura 2.



**figura 2. Arquitectura conceptual del proyecto MOSES [Dorador, 2001].**

Otros investigadores han identificado la necesidad de almacenar información acerca de las instalaciones y los procesos de manera separada a la información del producto. Estos enfoques proponen tener bases de datos separadas para mantener la información de las instalaciones y los procesos.

Uno de estos enfoques es el de Tonshoff y Zwick [Tonshoff and Zwick, 1998], quienes proponen la creación de un Modelo de Producto y Procesos Integrado (IPPM), consistiendo de un Modelo de Producto y un Modelo de Procesos y un esquema de todos los procesos. El propósito de su modelo de procesos es almacenar la información referente a los procesos de producción y de las máquinas. El esquema de todos los procesos es una liga entre los productos y los procesos de producción. Esta estructura es muy similar a una propuesta por el proyecto MOSES, sin embargo, su modelo no incluye estrategias.

La principal diferencia de otros enfoques con el grupo de investigadores del proyecto MOSES, es que estos comprenden los recursos, procesos y estrategias, mientras que otros proponen tener modelos separados.

### 3.3. INFORMACIÓN DE MANUFACTURA EN EL MODELO DEL PRODUCTO

Las decisiones concernientes a manufactura tomadas en el proceso de diseño determinan el costo de producción del producto. Estas decisiones pueden ser más precisas si la información apropiada está disponible en las etapas tempranas del proceso de diseño [Chen and Wallace, 1993].

Chen y Wallace [Chen and Wallace, 1993], dividen la información que el diseñador debe conocer acerca de la manufactura en las siguientes clases:

1. Proyecto: Información acerca del proyecto de diseño en general. Incluyendo información tal como la cantidad de productos, rango de producción esperada, y el programa de trabajo del proyecto. Esta información es esencial para clarificar las tareas y la etapa conceptual, e importante en la configuración de diseño.
2. Material: Información referente a las propiedades del material y disponibilidad. Incluyendo información tal como la facilidad de maquinado y tratamiento térmico de los materiales, tamaños, formas y costos del rango de materiales.
3. Proceso: La información es esencial en las etapas de configuración y detalle, y está dividida en:
  - ▶ Información referente al sistema de manufactura: Tipo de sistema, métodos de manejo de materiales y técnicas disponibles.
  - ▶ Información referente a los métodos de manufactura: Máquinas, herramientas e información operante.

Yao [Yao, Bradley et al., 1998] propone la creación de un Modelo de Producto Conjunto capaz de proporcionar soporte en las etapas conceptual y de configuración del diseño del producto. Este Modelo del Producto contiene información referente al proceso de manufactura, tal como soldadura [Yao, Bradley et al., 1998], pailería [Yao, Bradley et al., 1999], y selección de herramientas [Baker and Maropoulos, 2000] para soportar la planeación de procesos.

La necesidad de tener la información concerniente a las instalaciones que serán utilizadas para manufacturar el producto puede ser resuelta incluyendo esta información dentro del Modelo del Producto, sin embargo, esta información es particular al producto que es modelado. El Modelo de Manufactura contendrá la información de las instalaciones disponibles dentro de una empresa.

### 3.4. ESTÁNDARES PARA MODELAR INFORMACIÓN

Para capturar los requerimientos que deben estar contenidos en los modelos de información varios enfoques han sido propuestos, algunos de ellos se han convertido en estándares, como CIM-OSA (Computer Integrated Manufacturing- Open System Architecture) [Jorysz and Vernadat, 1990] y RM-ODP (Reference Model for Open Distributed Processing) [Toh, 1999]. Otros métodos importantes son la Metodología Integrada Grai [Doumeingts, 1998] y PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture)[Williams, 1998].

CIM-OSA se enfoca al modelado completo de las empresas, desde los requerimientos y especificaciones hasta el diseño del sistema, implementación, operación y mantenimiento.

RM-ODP es utilizado para el desarrollo de sistemas de software. Ambos pueden proporcionar una clara imagen de la organización y ayudar en la definición de las necesidades de la información. También pueden ser usados para evaluar el impacto de las decisiones en las diferentes áreas de la empresa [Prasad, 1996].

#### **Estándares ISO para modelar información.**

En los años 1970's el problema de intercambiar información entre diferentes sistemas CAD y entre sistemas CAD y CAM fue identificado y un gran número de formatos para intercambiar información estuvieron disponibles: IGES, SET, DXF, VDAFS, ISIF y EDIF.

Esfuerzos para estandarizar el intercambio de información han sido realizados por la ISO desde 1984. TC184/SC4 es el grupo que está desarrollando estándares para proporcionar la capacidad de describir y manejar la información del producto a través del ciclo de vida del mismo [Fowler, 1995], [Bloor and Owen, 1991], [Molina, 1995], [International Standards Organisation, 1997]. STEP y MANDATE son dos de los estándares desarrollados.

STEP (*ST*andard for the *E*xchange of *P*roduct Model Data), define un formato neutral de datos para la representación e intercambio de los datos del producto. La meta de este estándar es completar una representación independiente del sistema de todos los datos relacionados con el producto durante su ciclo de vida [Krause, Kimura et al., 1993], [Ashworth, Bloor et al., 1996]. Los métodos comúnmente usados en la generación de modelos de información STEP son IDEF0 y el lenguaje EXPRESS.

MANDATE (MANufacturing management DATa Exchange) especifica las características para la representación del manejo de información de manufactura en todo el proceso industrial con los mecanismos y definiciones necesarios para habilitar que el manejo de la información de manufactura sea compartido e intercambiable con la fábrica, con otras plantas o con otras compañías.

### 3.5. MODELOS DE INFORMACIÓN PARA DISEÑO Y MANUFACTURA

#### 3.5.1. TRABAJOS DESARROLLADOS EN INGLATERRA

##### 3.5.1.1. PROYECTO MOSES

El proyecto MOSES fue desarrollado en colaboración entre las Universidades de Loughborough y Leeds (Inglaterra), cuya meta era crear estructuras capaces de representar más que sólo los elementos geométricos de un producto. El proyecto se enfocó a un sistema de software que proporcionara información del producto y la manufactura, habilitando la toma de decisiones basadas en esta información y operando en un ambiente de ingeniería concurrente [Young and Bell, 1995], [Molina, 1995].

Para evaluar los diferentes aspectos del proyecto se desarrollaron varias aplicaciones de software en base a una serie de casos de estudio seleccionados para cubrir estos aspectos. Algunas de estas aplicaciones son:



MODELO DE MANUFACTURA PARA SOPORTAR APLICACIONES PARA DISEÑO Y MANUFACTURA [Molina, 1995].

Su trabajo se enfoca principalmente al desarrollo conceptual del modelo de manufactura. El modelo de manufactura propuesto por Molina es un modelo de información que describe las capacidades de una empresa. El modelo consiste de entidades que son relevantes e importantes para cualquier empresa de manufactura, llamadas: recursos de manufactura (máquinas, herramientas, celdas, operadores, etc.), procesos de manufactura (inyección de moldes, procesos de maquinado, etc.) y estrategias de manufactura (cómo estos recursos y procesos de manufactura son utilizados y organizados). El modelo de manufactura propuesto es un modelo de cuatro niveles basado en una empresa estándar (fábrica, taller, celda y estación) los cuales representan la funcionalidad de una instalación de cualquier empresa.

REDISEÑO SOPORTADO POR MODELOS DE INFORMACIÓN CON REFERENCIA A INGENIERÍA INVERSA [Borja, 1997].

Esta investigación está enfocada a la creación de una herramienta computacional para soportar ingeniería inversa. El tema de la investigación fue seleccionado en base a las necesidades de compañías mexicanas, pero los resultados son aplicables a cualquier industria involucrada en el diseño y/o manufactura de productos.

La investigación se basa en los logros obtenidos en el proyecto MOSES, para elaborar un soporte adecuado a la ingeniería inversa, aplicable al rediseño en general.

### **3.5.1.2. PROYECTO MIM**

El proyecto MIM (Manufacturing Information Models – Modelos de Información para Manufactura) desarrollado en la Universidad de Loughborough-Inglaterra, tiene sus antecedentes en el proyecto MOSES. Uno de los objetivos del proyecto MIM fue generar un nuevo entendimiento referente a los papeles de los modelos del producto y manufactura, y la mejora de las estructuras de datos requeridas para soportar la generación de la información de manufactura para conocer las necesidades de una manufactura global.

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 [Zhao, 1999], [Cheung, 2000]. La segunda línea se refiere al soporte para las actividades relacionadas con el ensamble [Dorador, 2001]. De este proyecto se pueden mencionar los siguientes casos de estudio, entre otros:

MODELO DEL PRODUCTO BASADO EN MECANISMOS DE TRASLACIÓN PARA SOPORTAR MÚLTIPLES VISTAS EN EL DISEÑO PARA MANUFACTURA DE PRODUCTOS [Canciglieri, 1999].

Esta investigación explora el modelado de información de un producto desde diferentes puntos de vista. Normalmente se tiene el punto de vista de diseño o el punto de vista de manufactura. 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 parte plástica y del molde.

Esta investigación contribuye en la investigación del potencial de utilizar enfoques basados en características en combinación con las técnicas de modelado de información para proporcionar conjuntos de información, a través de mecanismos de traslación entre diferentes vistas, las cuales pueden soportar un rango de puntos de vista de manufactura. Cada conjunto de información puede ser visto como un apoyo a un aspecto del producto en la toma de decisiones.

MODELOS DE RANGO DE PRODUCTOS EN EL DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA MOLDES DE INYECCIÓN [Costa, 2000]

Esta investigación explora un nuevo modelo de información, el Modelo del Rango de Productos. Este modelo es construido en el contexto de aplicaciones que utilizan tanto el modelo de manufactura como el modelo del producto como fuentes de información para el diseño del producto y el proceso de manufactura.

En la investigación se considera que los moldes de inyección son un tipo de rango de productos, que no solo incluyen variedad geométrica, sino diferencias generales y muy detalladas, tales como enfriamiento, etc. Las cuales pueden ser utilizadas en el diseño. Esta información puede ser capturada y utilizada para soportar decisiones de diseño.

INTERACCIONES DE INFORMACIÓN DE PRODUCTOS Y PROCESOS EN SISTEMAS QUE SOPORTAN DECISIONES PARA ENSAMBLE [DORADOR, 2001].

Esta investigación 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. Las estructuras definidas para los modelos permiten la interacción de información entre ellos y con aplicaciones de software; estas interacciones son esenciales para soportar un ambiente concurrente.

Se creó un software experimental para demostrar que las estructuras definidas para los modelos del producto y de manufactura pueden soportar un rango de aplicaciones de software relacionadas con el ensamble a través del desarrollo concurrente del producto. Las aplicaciones implementadas en el sistema experimental fueron Diseño para ensamble y Planeación de los Procesos de Ensamble. Los datos utilizados para las pruebas fueron obtenidos de una industria que manufactura grandes motores eléctricos.

### **3.5.2. TRABAJOS ACTUALES EN MODELOS DE INFORMACION**

#### **3.5.2.1. TRABAJOS DESARROLLÁNDOSE EN EL CENTRO DE DISEÑO Y MANUFACTURA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNAM.**

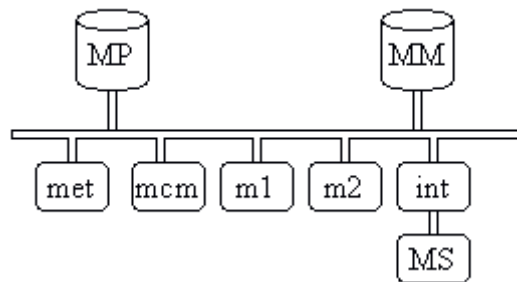
##### **3.5.2.1.1. SADET**

El Centro de Diseño y Manufactura (CDM) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, siguiendo la línea de investigación del modelado de información, con la colaboración de CONACYT y dos empresas del área metalmecánica, está desarrollando un sistema CAE basado en modelos de información para demostrar la utilidad y la potencialidad de aplicaciones que utilizan modelos de información (estructura y contenido de las bases de datos) con el fin de asistir en el diseño para manufactura: *SADET*, cuyas siglas

significan: “Sistema Auxiliar para el Diseño de Ejes de Transmisión”. (PAPIIT proyecto IN110398, CONACYT proyecto J-27775U).

El objetivo de SADET es diseñar, implementar y probar un sistema de cómputo, para asistir el diseño por manufactura de ejes de transmisión.

La arquitectura general de SADET se muestra en la figura 3 , y a continuación se describen las partes que lo conforman.



**figura 3. Arquitectura general de SADET**

Modelo del Producto (*MP*) [Mirón, 2001]. Modelo de información que describe bases de datos para almacenar la estructura, geometría, dimensiones, tolerancias, acabados superficiales e información de manufactura del eje secundario de una transmisión automotriz (Modelo basado en características (features)).

Modelo de Manufactura (*MM*) [Ayala, 2001]. Modelo de información que describe bases de datos para almacenar las capacidades de manufactura de las máquinas herramienta y herramientas necesarios para producir ejes de transmisión.

Modelador de ejes de transmisión (*met*) [Mirón, 2001]. 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, iconos y ventanas.

Modelador de celdas de manufactura (*mcm*) [Ayala, 2001]. 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, iconos y ventanas.

Módulo 1 de diseño para manufactura (*m1*). Este programa tomará información del MP y revisará al eje representado considerando criterios de facilidad para manufactura. Estos contemplarán análisis de geometría, acabados superficiales y tolerancias. En caso de encontrar algún problema, el m1 notificará al diseñador y propondrá una acción correctiva.

Módulo 2 de diseño para manufactura (*m2*). Este programa tomará información del MP y comparará los requerimientos del eje representado con las capacidades de manufactura de las celdas representadas en el MM. Los requerimientos a analizar incluirán geometría, dimensiones, acabados superficiales, tolerancias y ajustes. En caso de encontrar algún problema, el m2 notificará al diseñador y propondrá una acción correctiva.

Interfaz (*int*) [Vega, 2002]. Este programa permite seleccionar un eje que pertenezca al MP, toma la información correspondiente a la estructura de dicho eje, esta información es leída e interpretada por un modelador de sólidos para generar un modelador de sólidos para generar un modelo en tres dimensiones que describe físicamente al eje.

SADET se está construyendo por un equipo integrado por profesores y alumnos, de licenciatura, maestría, y doctorado, de las áreas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería en Computación.

### **3.5.2.2. TRABAJOS DESARROLLÁNDOSE EN LA UNIVERSIDAD DE LOUGHBOROUGH, INGLATERRA.**

USO Y REPRESENTACIÓN DE LA INTENCIÓN DE DISEÑO PARA EL APOYO DEL INGENIERO DISEÑADOR (ESPINOSA, A.)

Esta investigación explora como 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. Conocer el intento de diseño es importante porque los nuevos diseñadores pueden no saber que estaba en la mente del diseñador original o previo del producto.

Las herramientas computacionales ofrecen el potencial para almacenar grandes cantidades de información y proporcionar esta a los diseñadores a través de sistemas de cómputo para asistir en el proceso de la toma de decisiones. En los sistemas CAD/CAM solo se puede almacenar información referente a la geometría; en los Manejadores de Datos del Producto [Product Data Management) la información se encuentra centralizada y permite a usuarios autorizados acceder y actualizar la información del producto, sin embargo no permite almacenar el intento del diseño.

Los Modelos de Información proporcionan estructuras de información y conocimiento donde la información y el conocimiento pueden ser almacenados y clasificados en diferentes áreas para ofrecer apoyo al diseñador. Se proponen dos modelos a utilizar en esta investigación, el Modelo del Producto y el Modelo del Rango de Productos.

El Modelo del Producto contiene información referente a las especificaciones, requerimientos técnicos, geometría, materiales, dimensiones, tolerancias, etc. El Modelo del Rango de Productos almacena la información del rango de soluciones utilizadas en el pasado por diferentes sistemas, pero no almacena el intento de diseño. La propuesta es redefinir la clase del producto dentro del Modelo del Producto, para guardar el intento de diseño, ya que este está relacionado principalmente con las necesidades funcionales del producto. Se pretende que se pueda almacenar el intento de diseño y el efecto de los cambios. Para validar las ideas de esta investigación se está desarrollando un software experimental.

KNOWLEDGE MAINTENANCE IN KNOWLEDGE-BASED PRODUCT DEVELOPMENT SYSTEMS  
(GUERRA, D.)

Esta investigación tiene que ver con el mantenimiento del conocimiento. El propone que el conocimiento se divida en tres tipos: Explícito que es el que esta en libros y tablas, Tácito que está en vías de formalizarse y el implícito que es el que tienen las personas que saben como se hacen las cosas aunque no las tengan formalizadas en libros o tablas.

INFORMATION INTERACTION IN MULTI VIEWPOINT DESIGN AND MANUFACTURE  
(GUNENDRAN, G.)

Básicamente se trata de los diferentes puntos de vista desde los cuales se puede ver un producto y como se puede traducir la información desde un punto de vista a otro, para apoyar al diseñador y a los que llevan a cabo la manufactura del producto.

INFORMATION AND KNOWLEDGE MODELS TO SUPPORT GLOBAL MANUFACTURING CO-ORDINATION (LIU, S.)

Esta investigación tiene que ver con la coordinación de las actividades a nivel mundial de las instalaciones de una empresa trasnacional para la fabricación de un producto.

### 3.6. INFORMACIÓN RELACIONADA CON EL ENSAMBLE EN EL CICLO DEL PRODUCTO

El ensamble es parte del sistema de producción. Los productos finales producidos consisten de varias partes individuales y sub-ensambles que han sido manufacturados en diferentes tiempos, posiblemente en diferentes lugares.

La definición de ensamble que se utilizará en el presente trabajo es la siguiente:

“La agregación de todos los procesos por los cuales varias piezas y sub-ensambles son construidos para formar un ensamble o producto completo”. [Nof, 1997].

En ingeniería secuencial, la información requerida para llevar a cabo las actividades de ensamble no está disponible en las etapas iniciales del diseño, por lo que estas actividades se realizan en las etapas finales del diseño, cuando el efecto de los cambios es mínimo y su costo elevado[Dorador, 2001].

Dada la importancia del ensamble en el costo de los productos, se han creado técnicas para mejorar la facilidad de ensamble de los productos. Estas técnicas se conocen como “Diseño para ensamble”.

Estas técnicas de diseño para ensamble pueden ser desde guías y lineamientos para el diseñador, hasta sistemas computacionales que realizan la evaluación de los productos con respecto a su facilidad de ensamble. Al ser herramientas de evaluación no permiten su uso eficiente en ambientes de ingeniería concurrente.

Varios investigadores han recalcado la necesidad de aplicar las técnicas de diseño para ensamble y de planeación de los procesos de ensamble en las etapas tempranas del proceso de diseño [Dorador, 2001]. Se ha comprobado que por medio del modelado de la información del producto y de la de la planeación del proceso de ensamble, es posible dar soporte a la información requerida por el equipo de diseño en un ambiente de ingeniería concurrente para que pueda aplicar las técnicas de diseño para ensamble y la planeación de los procesos de ensamble [Dorador and Young, 1999]

El propósito principal del Diseño para Ensamble (DFA) es reducir el costo del ensamble optimizando el diseño del producto. Las variables que afectan el costo de un ensamble son propias de las partes mismas y de las operaciones de ensamble.

### **3.6.1. DISEÑO PARA ENSAMBLE**

Si el producto no está diseñado tomando en cuenta consideraciones de manufactura y ensamble, DFA y otras técnicas para incrementar la productividad serán útiles solo para traer malos diseños. Si el rediseño del producto es llevado a cabo durante las últimas etapas del diseño, los cambios no tendrán un gran impacto sobre el costo del producto.

Una de las principales reglas en DFA es la reducción del número de partes. Cuando estas son reducidas, no solo se reducen los costos de ensamble, también afecta a todas las operaciones relacionadas con las partes; al costo de producir y mantener toda la información relacionada a cada parte, costos administrativos de negociación con los proveedores, y costos de planeación [Kim and Bekey, 1994].

Cuando una parte es eliminada, su funcionalidad la toma otra parte o algunas partes que pueden ser unidas para tener una parte multifuncional. Sin embargo el costo de producción de estas partes normalmente es alto. En este caso DFA no es efectivo [Chen



and Wallace, 1993]. Esta es una de las razones por la cual es necesario efectuar el análisis en un ambiente de ingeniería concurrente, tomando en cuenta otros parámetros.

Una plataforma de ingeniería concurrente debe permitir evaluar diseños y explorar diferentes alternativas en diferentes niveles de abstracción.

El diseño para ensamble involucra la consideración de los procesos de ensamble mientras se diseña. Este es un aspecto importante de la ingeniería concurrente, todas las actividades relacionadas al ensamble, tales como diseño para ensamble, generación de la secuencia de ensamble, planeación de procesos de ensamble y análisis de tolerancia, pueden estarse llevando a cabo y ser transparentes para el diseñador [Lim, Lee et al., 1995].

Los principales métodos estructurados para diseño para ensamble fueron propuestos por Boothroyd (DFMA) y Swift (Método Lucas), los cuales han tenido muy buena aceptación en la industria para evaluar la facilidad de ensamble de productos totalmente diseñados.

### **3.6.1.1. PLANEACIÓN DE PROCESOS DE ENSAMBLE**

Un plan de ensamble describe como ensamblar el producto. La planeación de procesos de ensamble considera los requerimientos tecnológicos de cada trabajo a ser llevado a cabo.

La planeación de procesos de ensamble son una serie de actividades relacionadas al manejo de la información de las operaciones de ensamble de las partes que conforman el ensamble. La información es utilizada para la generación de tareas de ensamble y secuencias de tareas de operaciones de ensamble, la estimación del tiempo de las tareas, la determinación de los recursos necesarios para producir el ensamble y la asignación de tareas a los trabajadores [Dorador, 2001].

Para la planeación de procesos de ensamble comúnmente se llevan a cabo las siguientes actividades [Shimizu and Nishiyachi, 1996]:

1. Clasificar las partes dentro de grupos operacionales con referencia a la lista de materiales y determinar el orden de ensamble.

2. Calcular el tiempo de ensamble para cada parte con una tabla de tiempo predeterminada y calcular el tiempo total de ensamble.
3. Crear una hoja de trabajo estándar con la información suficiente, diagramas y dibujos para llevar a cabo las actividades de ensamble.
4. Cambiar el tiempo y el número de los procesos de ensamble de acuerdo al cambio del volumen de producción.

#### **3.6.1.2. PLANEACIÓN DE LA SECUENCIA DE ENSAMBLE.**

Para ser capaces de producir un plan de ensamble, es necesario definir la secuencia en que las operaciones de ensamble serán llevadas a cabo. Muy a menudo, el ensamble de un producto permite más de una secuencia de operaciones. Es responsabilidad del planeador encontrar la mejor secuencia bajo un conjunto dado de restricciones, por ejemplo, volumen de producción, tecnología disponible, etc.

#### **3.6.2. MODELADO DE ENSAMBLE.**

El modelado de ensamble está dividido en representaciones CAD de operaciones de ensamble y en modelos que mantienen la información necesaria correspondiente al ensamble.

La información gráfica mantenida en los sistemas CAD actuales soportan aplicaciones tales como edición de geometría, verificación de interferencia dinámica, generación de código de control numérico y, generación de estructuras para análisis por elemento finito. Además de la información geométrica, algunos sistemas CAD han adicionado capacidades paramétricas y de características [Dorador, 2001]. En aspectos de ensamble, hay software capaz de mantener condiciones tales como relaciones entre partes, orientación, alineación y ajuste de cada parte. Sin embargo, esta información no es suficiente para capturar completamente el intento de diseño, porque algunos aspectos esenciales del diseño no son capturados, por ejemplo:

El propósito de la existencia de las partes, el cual es necesario para llevar a cabo el análisis de diseño para ensamble (DFA).

En el análisis por elemento finito la geometría es utilizada para generar las estructuras, pero el propósito y las condiciones de trabajo son necesarias para llevar a cabo un análisis de ingeniería.

En un análisis de valor uno de los objetivos es remover características no necesarias. Sin el conocimiento de las razones de las características, el análisis no puede llevarse a cabo.

En QFD (Quality Function Deployment<sup>1</sup>) el diseño debe ser comparado con los requerimientos del cliente, por lo que la funcionalidad debe ser capturada.

### 3.6.3. MODELOS DE ENSAMBLE

Se ha dado poca atención al diseñar o modelar metodologías para ensamble comparado con el trabajo realizado para operaciones de manufactura .

Un modelo de ensamble debe ser capaz de capturar la información necesaria para describir las entidades y actividades asociadas con ensambles y ensamblados.

Esta información debe ser útil para diseñadores de productos, sistemas de ensamble, sistemas de logística, así como también para desensamble y reciclado [Whitney, 1996].

#### **3.6.3.1. ENSAMBLE EN LOS MODELOS DEL PRODUCTO Y MANUFACTURA DE LOS PROYECTOS MOSES Y MIM**

##### **3.6.3.1.1. PROYECTO MOSES**

El objetivo del proyecto MOSES en la etapa de ensamble, fue desarrollar un modelo de datos que pueda representar ensambles mecánicos dentro de un ambiente de trabajo distribuido donde los datos son compartidos entre aplicaciones.

En el proyecto MOSES, los modelos de ensamble fueron definidos como “un componente de los sistemas de información que proporcionarán la información del

---

<sup>1</sup> QFD es una herramienta que ha sido desarrollada para analizar los requerimientos del cliente a través del proceso de diseño de un producto.

producto y de manufactura necesaria para integrar el diseño del producto y el diseño del proceso” [Henson, 1995]. En proyectos previos a MOSES, desarrollados por la Universidad de Leeds de Inglaterra, el marco desarrollado para la información del producto dentro del “editor de estructuras” consideraba los ensambles como una lista de partes sin referencia a una conectividad física o funcional [Henson, 1993]. Esto fue adecuado para aplicaciones de listas de materiales pero es poco útil en aplicaciones donde la geometría es importante. Una de las metas del proyecto MOSES fue crear nuevas estructuras para soportar información relacionada con el ensamble, requerida por aplicaciones a través del ciclo del producto.

La propuesta relacionada con el ensamble en el proyecto MOSES, es la necesidad de proporcionar información para soportar el ensamble en diferentes niveles de abstracción.

El modelo de datos de ensamble desarrollado por el proyecto MOSES tiene que ser capaz de soportar información acerca de los grados de libertad de los componentes, la razón de su material y su ensamble.

Los resultados de esta área de investigación del proyecto MOSES fueron reportados por Henson [Henson, 1995], indicando que un modelo de datos para soportar la descripción de condiciones de acoplamiento fue desarrollado dependiendo de la descripción de los grados de libertad de los componentes.

Este modelo de datos no fue implementado y solo se produjo un comunicado especificando algunos de los requerimientos de información. En la descripción del comportamiento, la notación *bond graph* fue seleccionada para describirlo.

En el reporte para el área de ensamble del proyecto MOSES se propone la siguiente investigación a futuro:

Resolver cuestiones referentes a la integración de diferentes estructuras de producto (tales como función, estructura física y comportamiento). Manejo de restricciones entre diferentes estructuras de producto. Crear herramientas para poblar las diferentes

estructuras de producto del Modelo del Producto de forma que reflejen el proceso de diseño existente.

El modelo para ensamble debe ser aplicado y explotado.

El Modelo de Manufactura del proyecto MOSES fue enfocado a procesos de inyección de plásticos y maquinado. No se incluyeron en esta investigación procesos, recursos y estrategias relacionadas con el ensamble.

### 3.6.3.1.2. PROYECTO MIM

El proyecto MIM siguió el enfoque de utilizar un Modelo del Producto y un Modelo de Manufactura, el concepto general se muestra en la figura 4. Los modelos del producto y de manufactura se muestran en la parte superior de la figura, y el software de aplicación a ser soportado con los modelos de información se encuentra localizado en la parte inferior de la figura. El ambiente de integración comunica a los modelos de información con las aplicaciones, lo cual los habilita a trabajar juntos, aún si están basados en diferentes plataformas o si están localizados en sitios diferentes. Este ambiente de integración tiene que satisfacer los requerimientos de los diferentes elementos, de manera que los modelos puedan almacenar y mantener la información y las aplicaciones ejecutar funciones particulares y acceder la información.

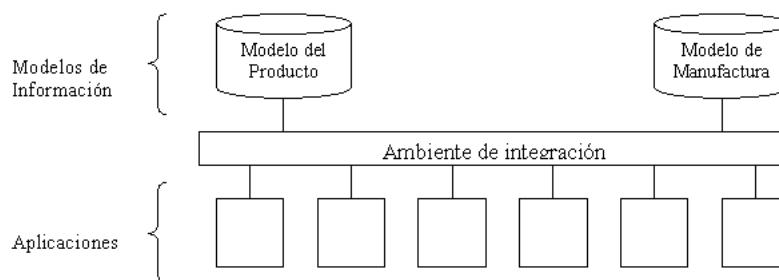


figura 4. Estructura del enfoque seguido en el proyecto MIM

Este mismo enfoque será seguido en el desarrollo del presente trabajo.

En el proyecto MOSES las actividades relacionadas con el ensamble fueron consideradas en el Modelo del Producto, pero no fueron desarrolladas por completo ni implementadas.

En el proyecto MIM el trabajo de Dorador [Dorador, 2001] se enfoca a mejorar los modelos de información introduciendo estructuras para soportar las actividades de ensamble y la forma de interactuar entre los modelos, como se explicará en el capítulo 4.

#### 3.6.4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA EVALUAR LA FACILIDAD DE ENSAMBLE

Para llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble se utilizará el método Boothroyd de diseño para ensamble [Boothroyd, Dewhurst et al., 1994] (ver apéndice A).

Este método está basado en dos tablas: la de manipulación y la de inserción. La tabla de manipulación se refiere a como se sujeta y manipula la pieza, y de acuerdo con las opciones de manipulación obtenemos el código y el tiempo de manipulación; y la de inserción se refiere a cómo se inserta o ensambla la pieza, y de acuerdo a las opciones de inserción obtenemos el código y tiempo de inserción. Para hacer uso de estas tablas es necesario conocer:

- El peso de la pieza.
- La simetría rotacional y lineal de la pieza.
- Cómo se sujeta y manipula la pieza y si se requieren herramientas para hacerlo.
- La facilidad de alineación y posicionamiento de la pieza
- Cómo se inserta la pieza (ensamble).
- Operaciones que se requieren para ensamblar la pieza.

De acuerdo a esta información se obtienen los códigos y tiempos de manipulación e inserción para la pieza analizada.

Estos códigos y tiempos ayudan al diseñador a tomar decisiones relacionadas con el ensamble. Tales como identificar las piezas que implican altos tiempos o costos para ser manipuladas o insertadas, así como las piezas que podrían ser rediseñadas o eliminarse.

### 3.6.5. MODELO DE INFORMACIÓN A UTILIZAR.

El modelo de información que se utiliza en el presente trabajo es el que propuso Dorador, en el cual introduce nuevas estructuras en los modelos del producto y de manufactura para que soporten las actividades relacionadas con el ensamble, además de la interacción entre los dos modelos. En la figura 5 se muestra el concepto general de su investigación.

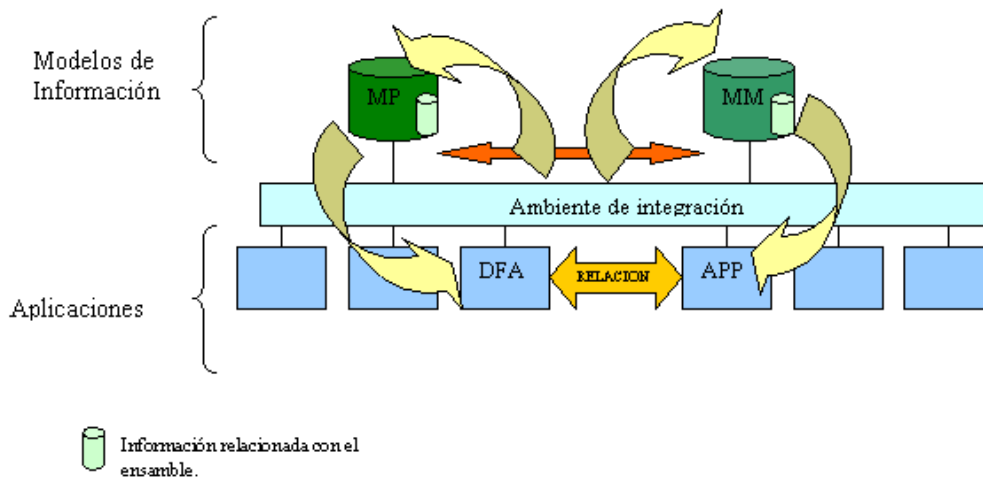


figura 5. Interacciones entre los modelos de información y las aplicaciones de software [Dorador, 2001]

#### 3.6.5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MODELO DEL PRODUCTO PROPUESTA POR DORADOR.

La estructura del modelo del producto propuesta por Dorador es capaz de capturar información referente a componentes de máquinas eléctricas, obteniendo una relación entre dicho modelo y el modelo de manufactura que captura la información de las instalaciones de la compañía que los fabrica.

En la figura 6 se muestra el diagrama en UML de la estructura general del modelo del producto, el cual permite una clara descripción del producto. En esta estructura tal descripción está basada en sus características, las cuales incluyen especificaciones, geometría, funcionalidad, información de manufactura, propiedades de material, etc. En la estructura del modelo del producto se especifican los niveles de ensamble que pueden existir en un producto: ensamble padre, subensamble y componente, las clases

correspondientes se llaman *Padre*, *Subensamble* y *Componente*, las cuales son miembros de la clase *Producto*.

Esta estructura propuesta por Dorador extiende los trabajos llevados a cabo en el proyecto MOSES al incluir nuevas clases, como la clase *Características*, que es una integración de las características del producto; la clase *Rango de Productos*, que permite clasificar los componentes y/o subensambles del producto en tres grupos: estándar (componentes comerciales), variante (componentes estándares con alguna variación) y originales (componentes diseñados de acuerdo a las especificaciones del cliente), lo cual facilita el diseño de productos con variantes; y la clase *Vistas*, que permite obtener información del producto desde diferentes puntos de vistas: desde el punto de vista de diseño, de manufactura y otros.

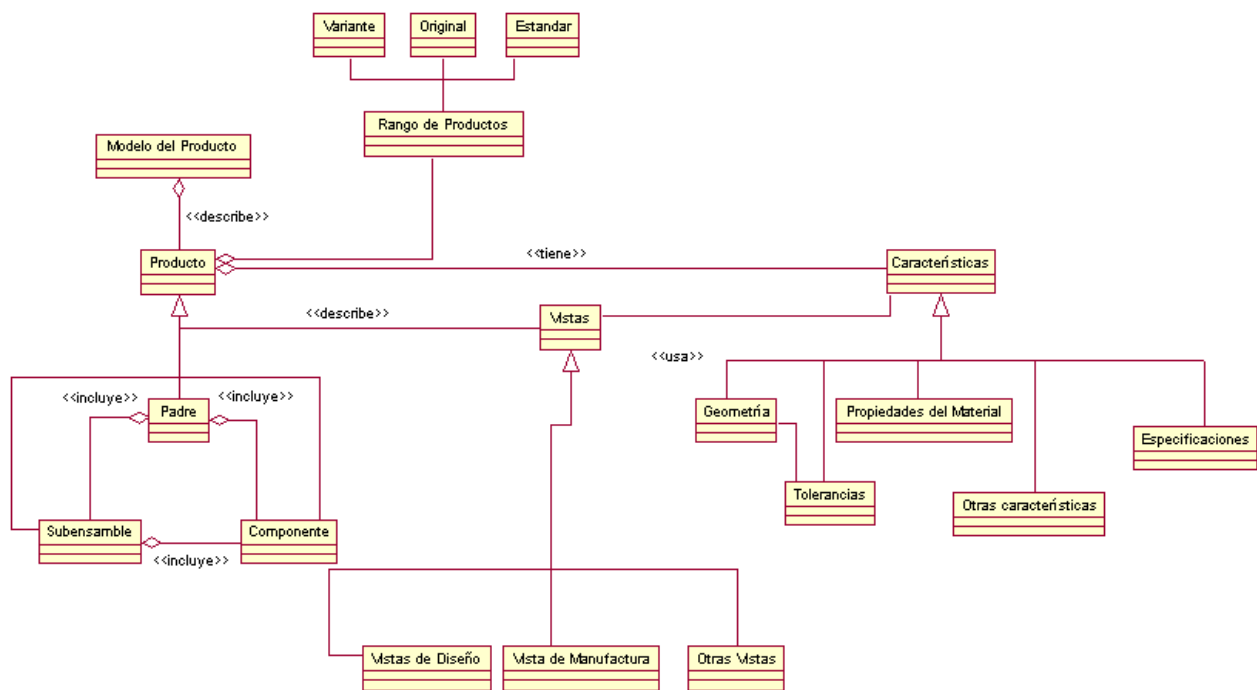


figura 6. Diagrama en UML de la estructura general del Modelo del Producto [Dorador, 2001]

En la investigación llevada a cabo por Dorador, se plantea que las estructuras propuestas en su investigación pueden capturar información de otros productos e instalaciones, para lo cual se deben crear nuevas aplicaciones utilizando los modelos de información propuestos.



## 4.DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE SOFTWARE PARA ASISTIR AL DISEÑADOR EN ASPECTOS DE DISEÑO PARA ENSAMBLE

### 4.1. NUEVA ESTRUCTURA DEL MODELO DEL PRODUCTO

En el capítulo anterior se describió la estructura del modelo del producto propuesta por Dorador [Dorador, 2001], en la que se pudo observar que para almacenar información distinta a partes de máquinas eléctricas no se requiere hacer modificaciones. Sin embargo, para evaluar la facilidad de ensamble sí se requiere modificar la estructura antes mencionada.

La nueva estructura del modelo del producto es la que se muestra en la figura 13. Como se puede observar, se incluye la clase: *ManipulaciónManual* para manejar la información correspondiente al código y tiempo de manipulación manual de la pieza; y se modifican los atributos de la clase *Conexiones* para manejar la información correspondiente al código y tiempo de inserción manual de la pieza.

Las modificaciones propuestas al modelo del producto se deben a que es indispensable guardar la información mencionada para poder hacer el análisis de facilidad de ensamble por el método Boothroyd.

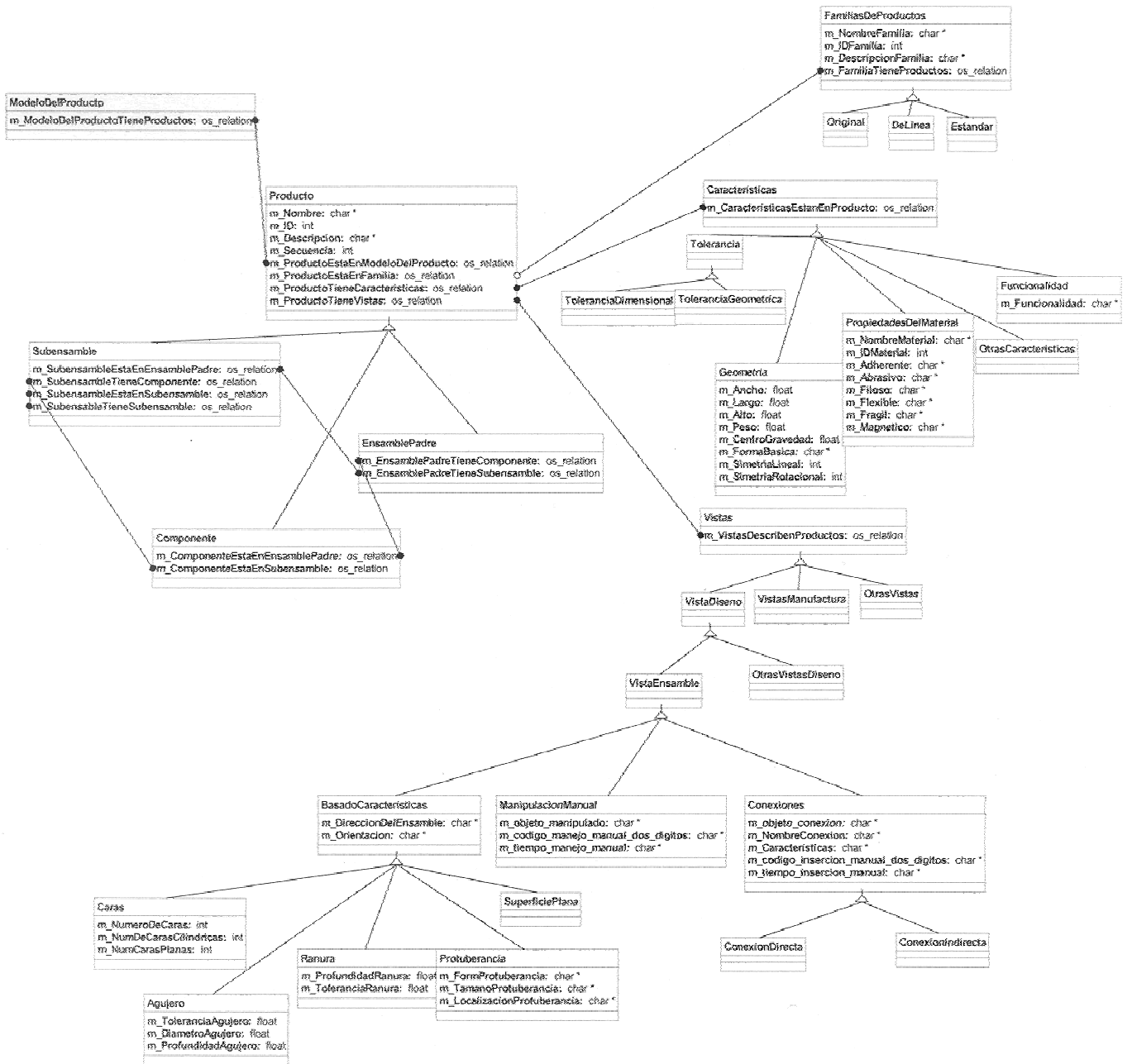


figura 1. Nueva estructura del Modelo del Producto

## 4.2. HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS UTILIZADAS

La herramienta de software fue creada utilizando la base de datos orientada a objetos ObjectStore<sup>®</sup> y el lenguaje de programación Microsoft Visual C++<sup>®</sup>.

Se utiliza ObjectStore<sup>®</sup> ya que es la base de datos con la que se ha trabajado en estas investigaciones y es con la que se cuenta en el Centro de Diseño y Manufactura de esta Facultad.

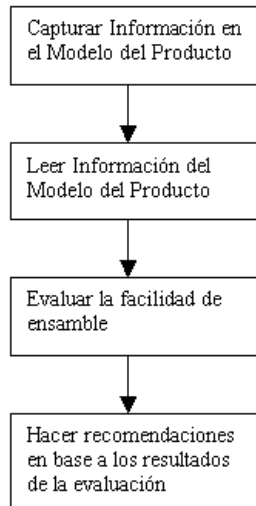
La comunicación entre ObjectStore<sup>®</sup> y el usuario pudo haberse programado en Visual Basic o Java, sin embargo se utilizó Visual C++<sup>®</sup> debido a que es el lenguaje nativo de la base de datos, además de que es el lenguaje del que se tiene más conocimiento.

Para llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble se siguieron los criterios de la metodología de Boothroyd para ensamble manual (ver apéndice A).

## 4.3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE SOFTWARE

Se demostrará que es posible utilizar la metodología de Boothroyd (ver apéndice A) para llevar a cabo la evaluación de facilidad de ensamble en un ambiente de ingeniería concurrente gracias a la utilización del modelo del producto. Para esto, se analizó la estructura propuesta por Dorador y se le hicieron algunas modificaciones. Tradicionalmente el método de Boothroyd se utiliza en forma independiente a cualquier software y su uso queda entonces restringido al trabajo en forma secuencial y solo se puede aplicar al concluir el diseño de detalle.

En la figura 14 se muestra un diagrama de bloques de lo que hará el sistema.



**figura 2. Diagrama de bloques del sistema propuesto.**

#### *Capturar Información en el Modelo del Producto*

El sistema permitirá capturar toda la información necesaria para describir un producto (nombre, descripción, forma general, geometría, material y funcionalidad)

#### *Leer Información del Modelo del Producto*

El sistema será capaz de leer la información que describe a un producto.

#### *Evaluar la Facilidad de Ensamble*

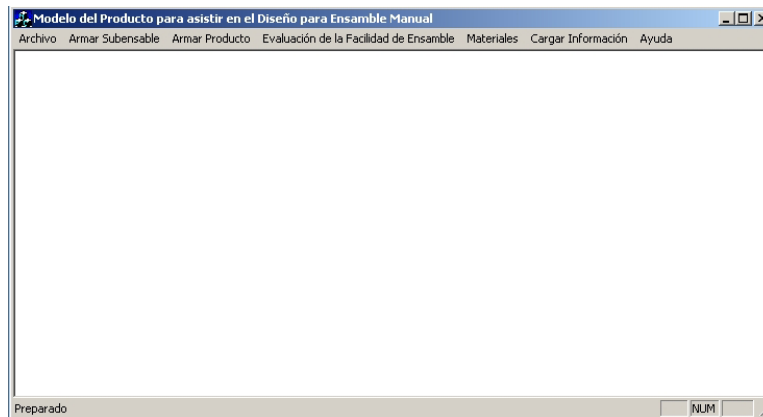
En base a la información que leerá el sistema se llevará a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble, utilizando el método propuesto por Boothroyd.

#### *Hacer Recomendaciones*

En base a los resultados de la evaluación el sistema será capaz de identificar posibles problemas en la manipulación e inserción de las piezas.

#### 4.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Al ejecutarse el programa aparece la pantalla de inicio (figura 3), donde se muestra el menú principal.



**figura 3.Pantalla de inicio.**

Este menú principal tiene las siguientes opciones:

##### Archivo

Este submenú tiene opciones para abrir una base de datos existente o crear una nueva base de datos, definir las características generales del producto y sus componentes y/o subensamblables, cerrar la base de datos activa y salir de la aplicación.

##### Armar Subensamblable

Una vez dadas las características generales del subensamblable, hay que formarlo, y este puede integrarse por componentes o subensamblables.

##### Armar Producto

Para armar el producto, después de definir las características generales de este, se le asocian los componentes y/o subensamblables que lo integran.

##### Evaluación de la Facilidad de Ensamble

Una vez que el producto ha sido armado, se selecciona y se lleva a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble. Mostrando los resultados de manipulación e inserción de las partes que forman al producto.

## Materiales

Este submenú tiene dos opciones, la primera sirve para dar de alta materiales, sin necesidad de definir las características de un producto, componente o subensamblable. Y la segunda para poblar la base de datos con una lista predeterminada de materiales.

## Ayuda

Contiene la descripción del funcionamiento del sistema.

## CREAR UNA BASE DE DATOS NUEVA O ABRIR UNA EXISTENTE

Del submenú archivo se puede seleccionar cualquiera de las dos opciones: *Crear Nueva Base de Datos* ( figura 4), o *Abrir base existente* ( figura 5).

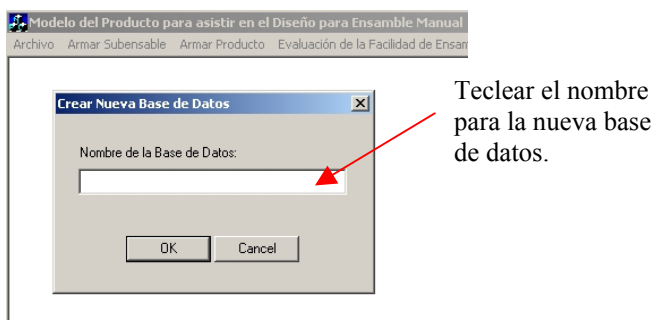


figura 4. Crear Nueva Base de Datos.

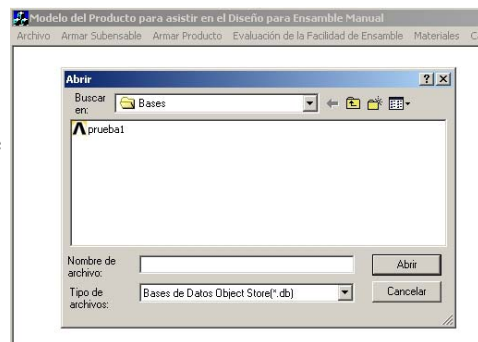


figura 5. Abrir base existente.

En la programación de la aplicación se especificó un directorio donde se almacenarían las diferentes bases de datos, y en el cual buscaría estas, este directorio tiene por nombre Bases.

## DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PRODUCTO, COMPONENTES Y/O SUBENSAMBLES.

Para crear un producto es necesario que primero se conozca de cuantos componentes y/o subensambles está formado, ya que se tienen que definir las características generales de todas las piezas. Para definir las características generales de un producto,

componente o subensamblable se selecciona la opción *Definir* y cualquiera de sus opciones, como se muestra en la figura 6.

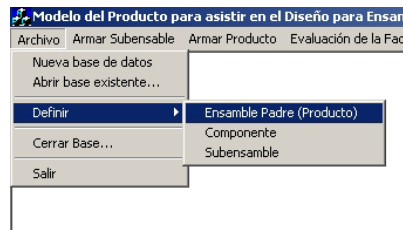


figura 6. Para Definir Características Generales.

Por ejemplo, el diálogo que corresponde a la opción *Ensamble Padre* es el que se muestra en la figura 7.

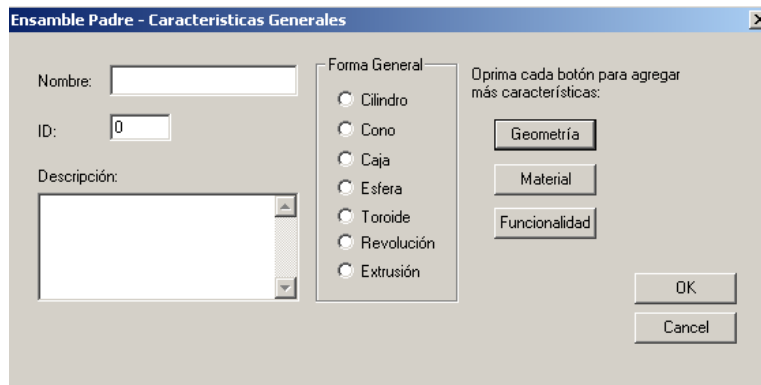
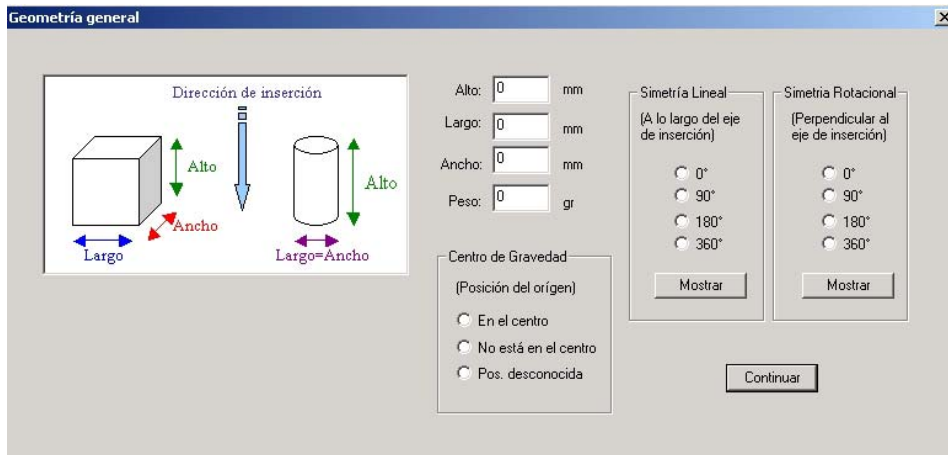
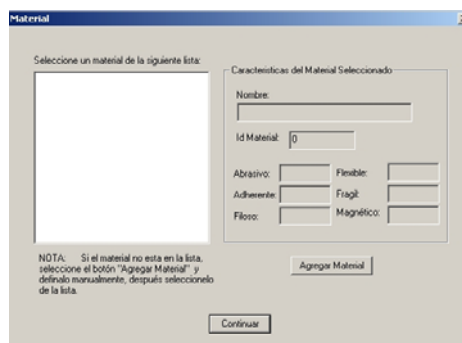


figura 7. Definir Características Generales de un Ensamble Padre.

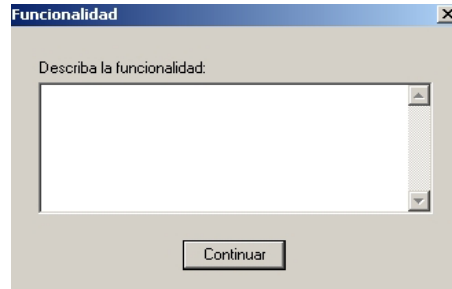
El cual se llenará de acuerdo a las características del producto (ensamble padre). Es necesario dar un nombre al producto, describir el producto (qué es), seleccionar la forma general que tiene, y agregar las características de este. Al presionar el botón *Geometría* el diálogo que aparecerá es el que se muestra en la figura 8(a) (dimensiones, simetrías, centro de gravedad). Al presionar el botón *Material*, aparecerá el diálogo que se muestra en la figura 8(b), y finalmente, al presionar el botón *Funcionalidad* (para qué sirve) aparecerá el diálogo que se muestra en la figura 8(c).



(a) Geometría General



(b) Material

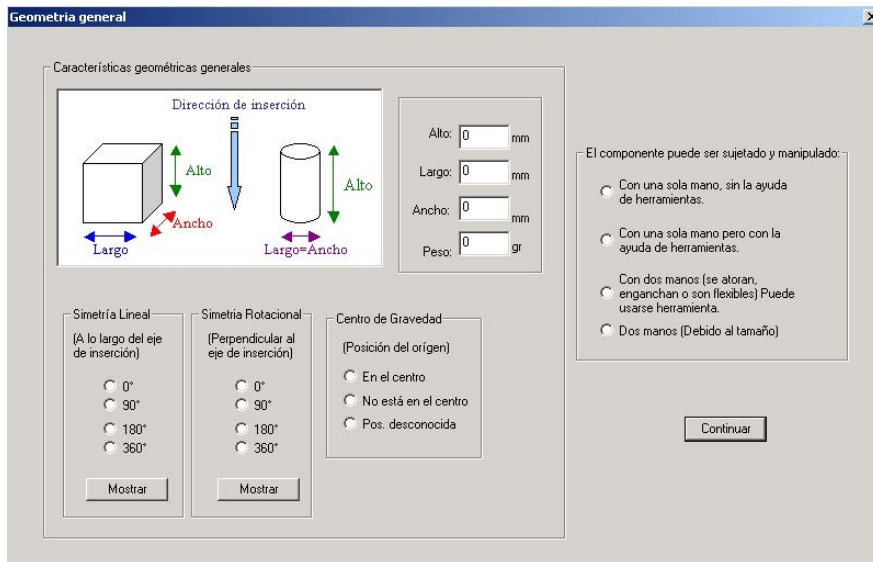


(c) Funcionalidad

**figura 8. Características del Ensamble Padre.**

Para el caso de componentes y subensambles el diálogo de Características Geométricas a diferencia del ensamble padre, utiliza los criterios del método Boothroyd para manipulación manual (figura 9).

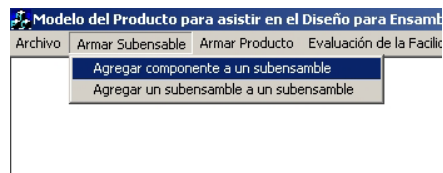




**figura 9. Características geométricas para componentes y subensambles.**

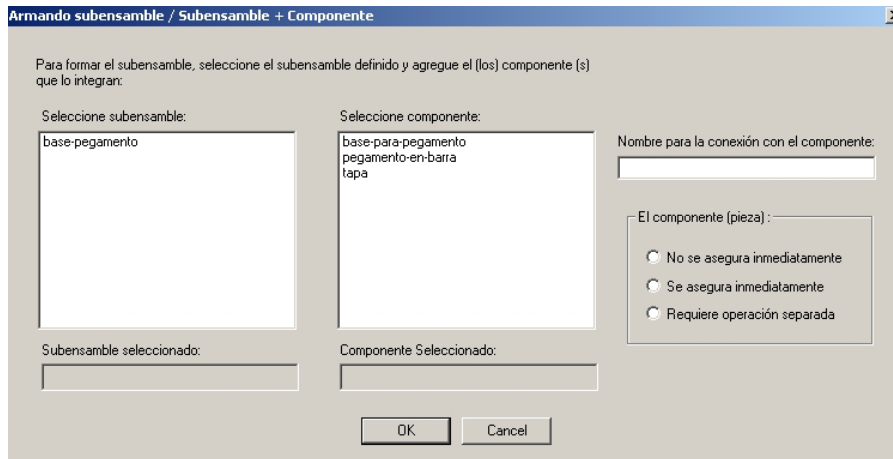
#### ARMAR UN SUBENSAMBLE

El subensamble puede estar formado por varios componentes y/o subensambles. Para armar cada uno de los subensamble es necesario primero haber definido sus características generales, posteriormente seleccionar del menú principal la opción “Armar subensamble”, como se muestra en la figura 10, y seleccionar cualquiera de las opciones.



**figura 10. Para Armar un subensamble.**

Por ejemplo, si se quiere agregar un componente a un subensamble aparecerá un diálogo similar al que se muestra en la figura 11.



**figura 11. Agregar un componente a un subensamble.**

En este diálogo hay dos listas, una para seleccionar el subensamble al que se agregará un componente, y la otra para seleccionar el componente que se agregará al subensamble. Aquí se utilizan los criterios del método Boothoyd para inserción manual.

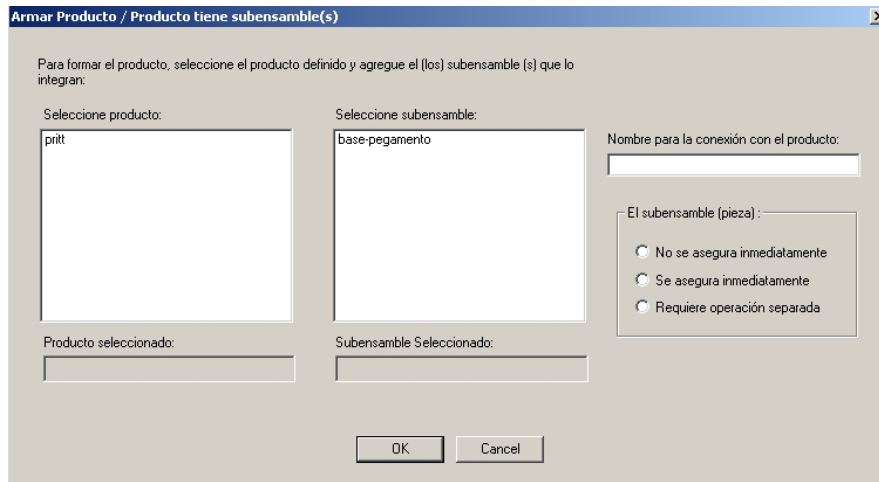
#### ARMAR UN PRODUCTO

El producto puede estar formado por varios componentes y/o subensambles. El proceso es similar al de armar un subensamble. Al seleccionar del menú principal *Armar producto*, como se muestra en la figura 12, se pueden seleccionar dos opciones: *Agregar subensamble* o *Agregar componente*.



**figura 12. Armar Producto.**

Por ejemplo, si se quiere agregar un componente a un producto aparecerá el diálogo que se muestra en la figura 13.



**figura 13. Agregar un subensamblable a un producto.**

En este diálogo hay dos listas, una para seleccionar el producto al que se agregará un subensamblable, y la otra para seleccionar el subensamblable que se agregará al producto. Aquí también se utilizan los criterios del método Boothoyd para inserción manual.

#### EVALUACIÓN DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLE

Para llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble es necesario que el producto este totalmente formado por sus componentes y/o subensambles. Del menú principal seleccionar “Evaluación de la Facilidad de Ensamble” y “Seleccionar producto” como se muestra en la figura 14.



**figura 14. Evaluación de la facilidad de ensamble de un producto.**

Esta acción abre un diálogo como el que se muestra en la figura 15.

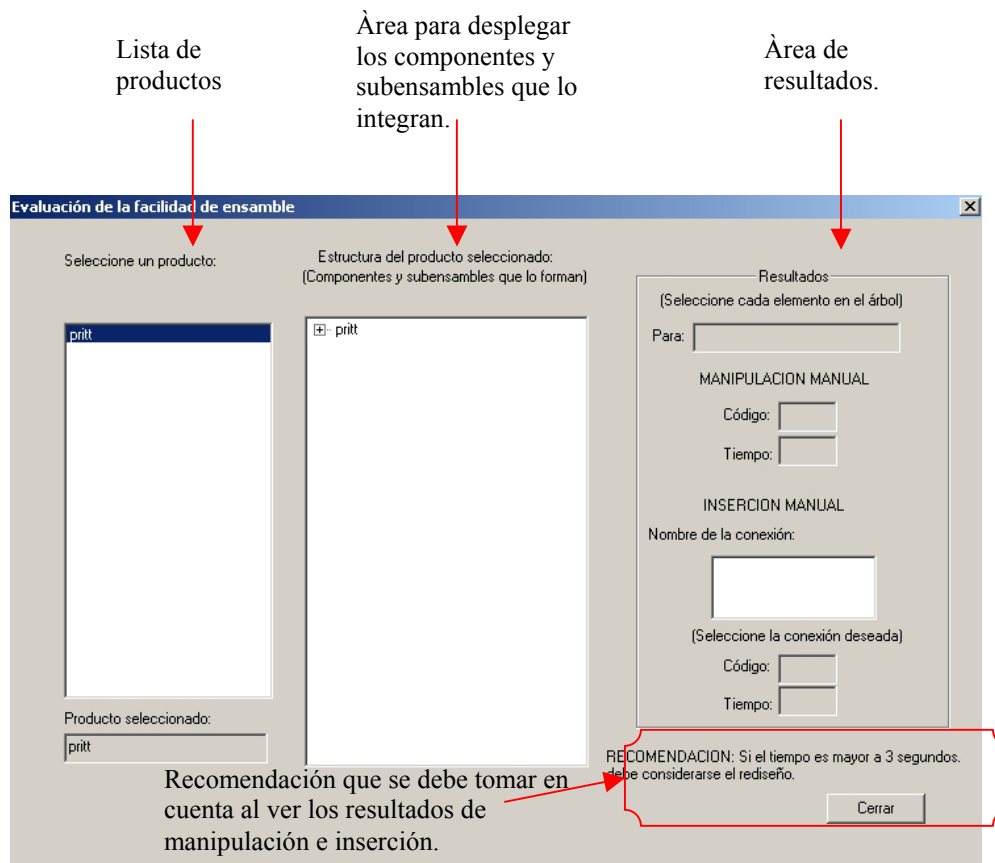


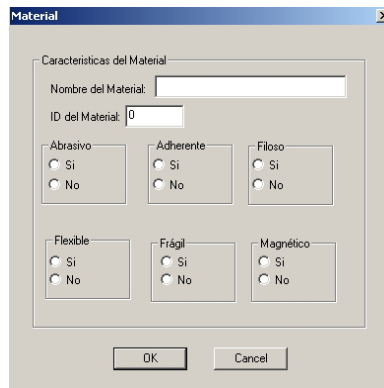
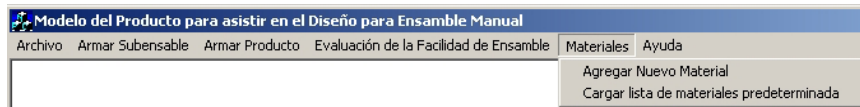
figura 15. Evaluación de la facilidad de ensamble.

Donde se podrá seleccionar el producto, y se mostrará una estructura jerárquica con los componentes y subensambles que lo forman.

Así mismo se visualizarán los códigos y tiempos de manipulación e inserción de los componentes y/o subensambles.

## MATERIALES

Existen dos opciones, la primera *Agregar Nuevo Material* permite agregar diferentes materiales a la base de datos desde el menú principal (figura 16), y la segunda *Cargar lista de materiales predeterminada* permite poblar la base de datos con una lista predeterminada de materiales.



**figura 16. Agregar materiales desde el menú principal.**

AYUDA

Contiene la descripción del funcionamiento del sistema, guiando al usuario paso a paso en la creación de una nueva base de datos, un producto y su evaluación de la facilidad de ensamble.

## 4.5. CASO DE ESTUDIO

En el presente trabajo, para cumplir con el objetivo principal que es probar la factibilidad del uso de las estructuras de los modelos de información para asistir en el diseño para ensamble por medio de la evaluación de la facilidad de ensamble, se desarrolló una herramienta de software que permite capturar la información de productos relacionados con artículos de oficina (figura 17) y evaluar la facilidad de ensamble de los mismos.

En este caso sólo se trabajó con el modelo del producto, ya que aquí se guarda la información de los productos y para la demostración propuesta no se requiere utilizar información de manufactura.



figura 17. Productos del caso de estudio

### PRODUCTO 1. CUTTER

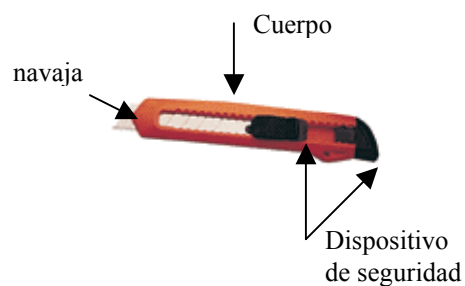


figura 18. Componentes del cutter.

Este producto es de tamaño mediano, consta de cinco componentes (figura 18), uno de ellos es una navaja segmentada con punta de flecha para hacer cortes rectos fácilmente.

## PRODUCTO 2. PLUMA



figura 19. Componentes de la pluma.

Este es un producto de tamaño mediano, el cual tiene los siguientes componentes: cartucho, punta, resorte, cuerpo, tapa, tapón, protector.

## PRODUCTO 3. SACAPUNTAS

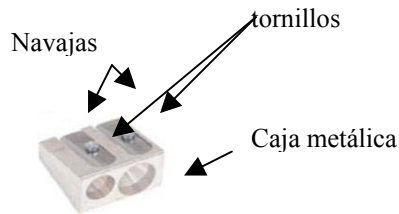


figura 20. Componentes del sacapuntas.

Sacapuntas metálico doble. Es un producto chico que consta de 5 componentes: 2 navajas, 2 tornillos y una caja metálica.

## PRODUCTO 4. COMPAS

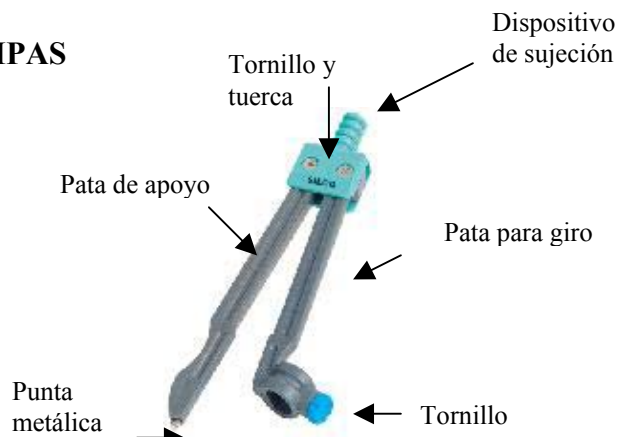


figura 21. Componentes del compás.

Compás escolar. Consta de 9 componentes: 1 tornillo de plástico, 2 tornillos metálicos, dos tuercas metálicas, punta metálica, pata de apoyo, pata para giro, dispositivo de sujeción.

A continuación se muestra el procedimiento para introducir la información de estos componentes en la base de datos, utilizando el ejemplo del producto *lápiz adhesivo*.

## PRODUCTO 5. LAPIZ ADHESIVO



figura 22.Lápiz adhesivo

### PASO 1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Nombre del producto, en este caso: **Pritt**

Como se puede apreciar en la figura del producto, su forma general es un cilindro.

El producto es un tipo de pegamento, en este caso, un lápiz adhesivo.

figura 23. Características Generales del Producto

Dimensiones generales del producto.

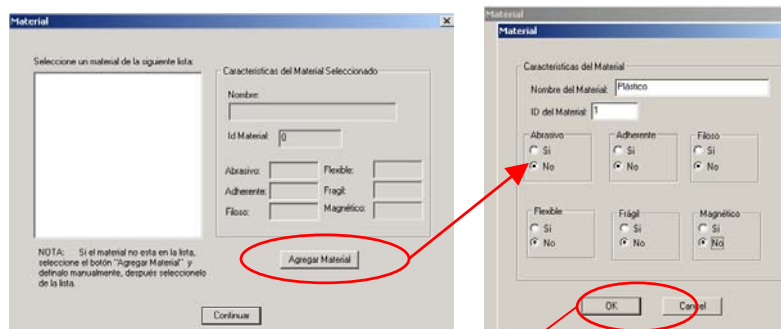
El producto es un tipo de pegamento, en este caso, un lápiz adhesivo.

figura 24. Geometría General

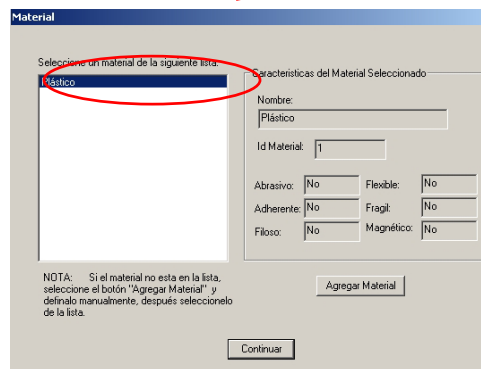
Cuando se crea una base de datos nueva, no hay información en ella. Por lo que al definir un producto y tratar de seleccionar su material la lista estará en blanco, habrá que agregar el material primero y posteriormente seleccionarlo. A menos que se haya seleccionado la opción de cargar la lista predeterminada de materiales antes de



comenzar a definir productos. En este caso, si el material existe se selecciona de la lista, si no, se agrega.



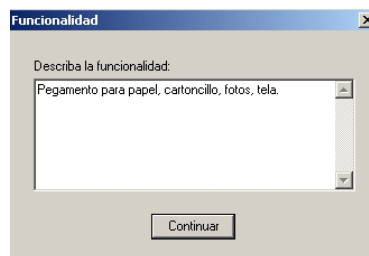
(a) Seleccionar “Agregar material”  
(b) Nombre y características del material



(c) Seleccionar el material de la lista

**figura 25. Material (Agregando material, seleccionado el material)**

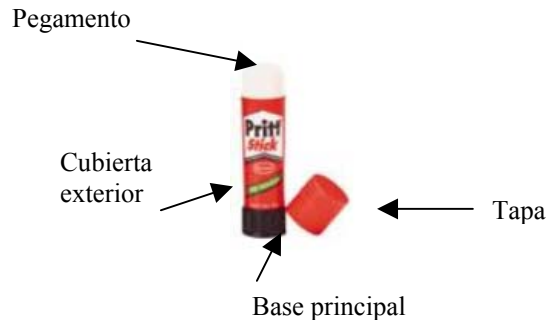
Otra de las características generales de un producto es su funcionalidad, la cual se refiere a la utilidad o función que tiene el producto. En este caso, el lápiz adhesivo sirve para pegar papel, cartoncillo, fotos y tela.



**figura 26. Funcionalidad**

## PASO 2. DEFINICIÓN DE COMPONENTES Y SUBENSAMBLES

El lápiz adhesivo tiene los siguientes componentes:



**figura 27. Componentes del producto**

Además de una base para el pegamento.

Después de haber definido el producto en general, se definen los componente y subensambles que lo forman.

### COMPONENTE “TAPA”

Debe darse un nombre al componente, hacer su descripción, seleccionar su forma general y agregar las características geométricas, el material y su funcionalidad.

La imagen muestra una ventana de software titulada 'Componente'. En el campo 'Nombre' se ha ingresado 'tapa-pritt' y en 'ID' el número '2'. El campo 'Descripción' contiene el texto 'tapa'. En la sección 'Forma General', el radio botón 'Cilindro' está seleccionado. A la derecha, hay tres botones: 'Geometría', 'Material' y 'Funcionalidad'. En la parte inferior derecha, se encuentran los botones 'OK' y 'Cancel'.

**figura 28. Definición del componente tapa.**

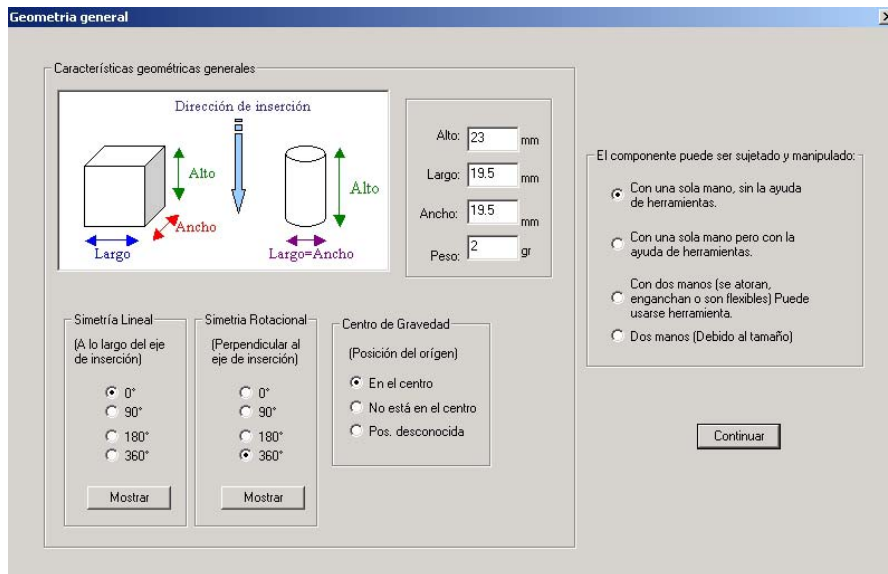


figura 29. Características geométricas generales del componente tapa.

Al agregar las características geométricas del componente se empiezan a utilizar los criterios del método de Boothroyd para manipulación manual. Y dependiendo de la opción de manipulación seleccionada aparecerá otro diálogo con otras opciones de acuerdo a los criterios de Boothroyd .

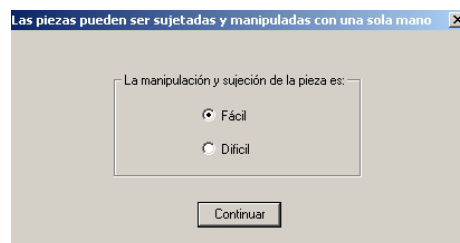


figura 30. Opción de manipulación para el componente tapa.

Después de haber seleccionado las opciones correspondientes, nos indica el código y tiempo de manipulación para el componente, el cual también se almacena en la base de datos.

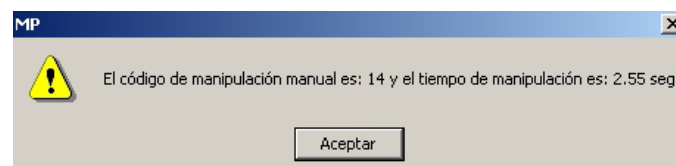


figura 31. Código y tiempo de manipulación para el componente tapa.

Después de haber definido las características geométricas, se especifica el material y la funcionalidad del componente.

Material

Seleccione un material de la siguiente lista:

Plástico

Características del Material Seleccionado

Nombre: Plástico

Id Material: 1

Abrasivo: No Flexible: No

Adherente: No Frágil: No

Filoso: No Magnético: No

NOTA: Si el material no está en la lista, seleccione el botón "Agregar Material" y defínalo manualmente, después selecciónelo de la lista.

Agregar Material

Continuar

**figura 32. Material del componente tapa.**

Funcionalidad

Describe la funcionalidad:

Tapar el pegamento evitando que se seque.

Continuar

**figura 33. Funcionalidad del componente tapa.**

Así como se definió el componente “tapa”, se definen los demás componentes, por lo que a continuación solo se mostraran algunas de las pantallas de diálogo.

## COMPONENTE “CUBIERTA EXTERIOR”

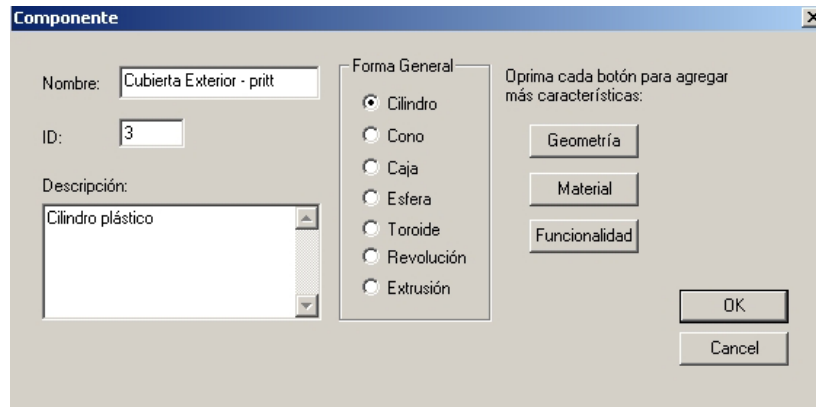


figura 34. Definición del componente cubierta exterior.

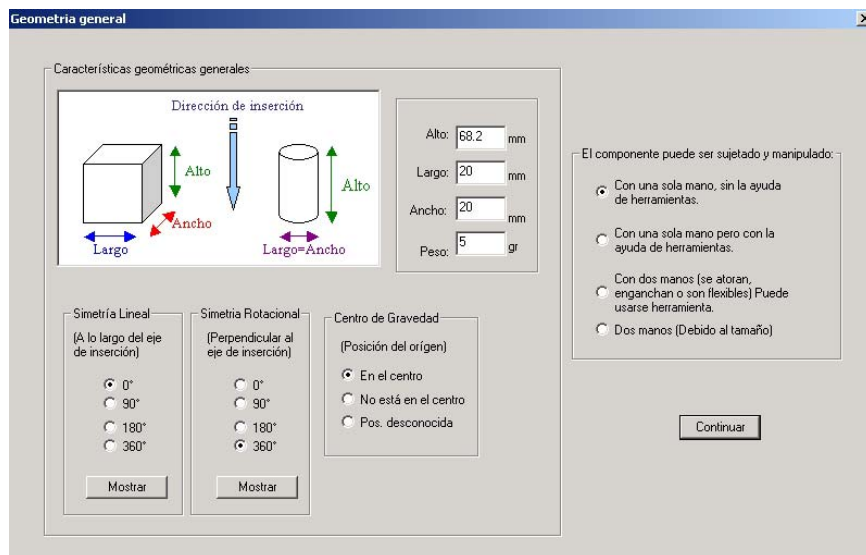


figura 35. Geometría General del componente cubierta exterior.

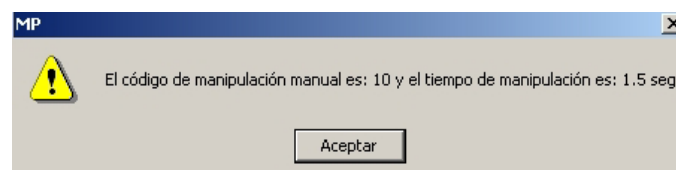


figura 36. Código y tiempo de manipulación manual del componente cubierta exterior.

## COMPONENTE “ BASE PARA PEGAMENTO”

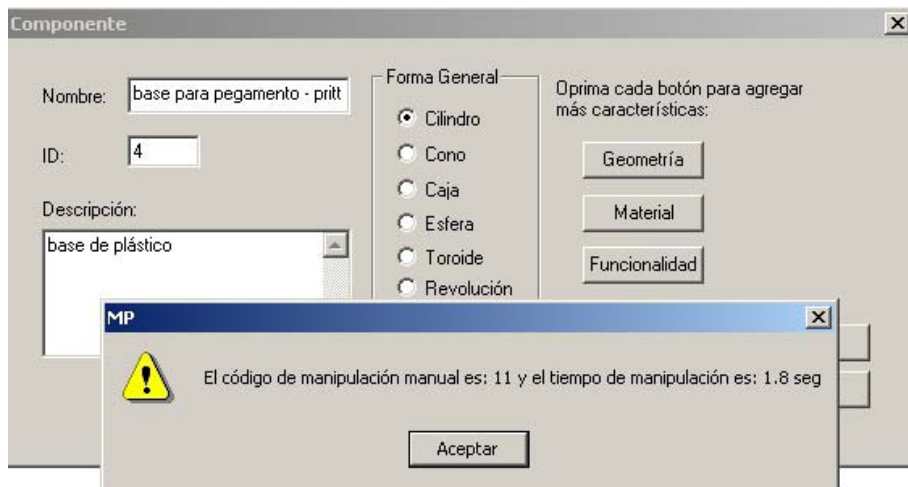


figura 37. Código y tiempo de manipulación del componente pegamento

## COMPONENTE “PEGAMENTO”

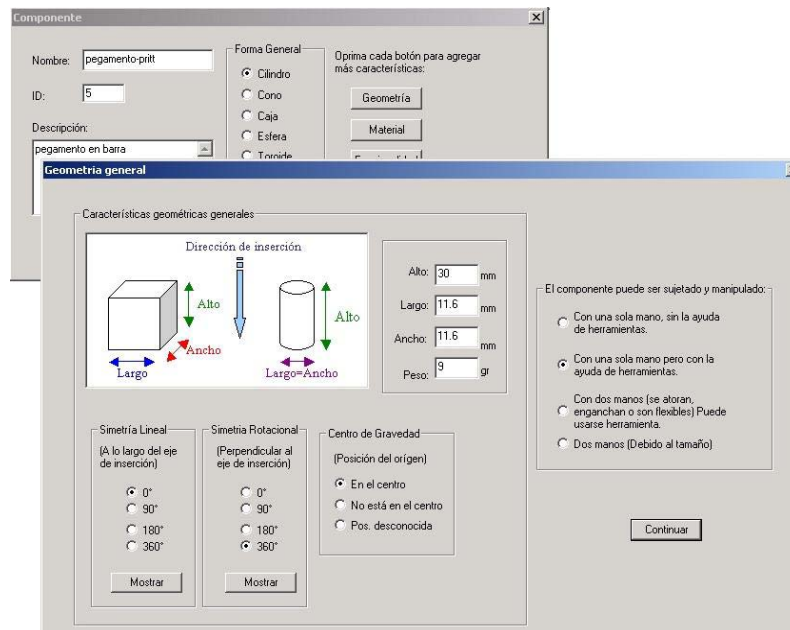


figura 38. Definición del componente pegamento (Características geométricas)

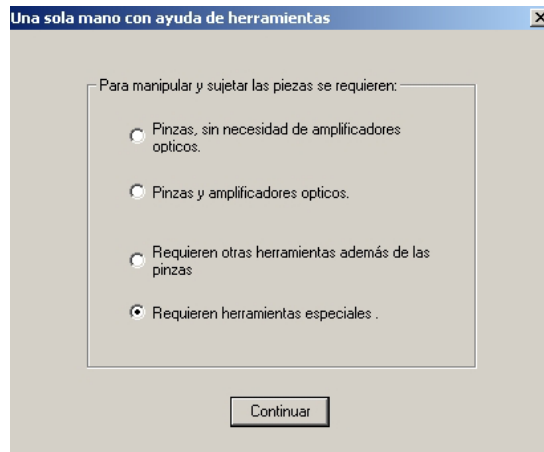


figura 39. Manipulación del componente pegamento.

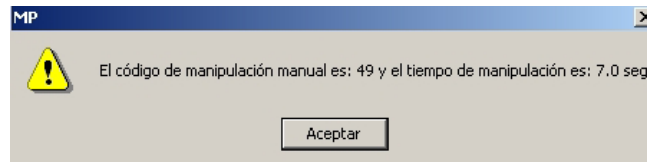


figura 40. Código y tiempo de manipulación del componente pegamento.

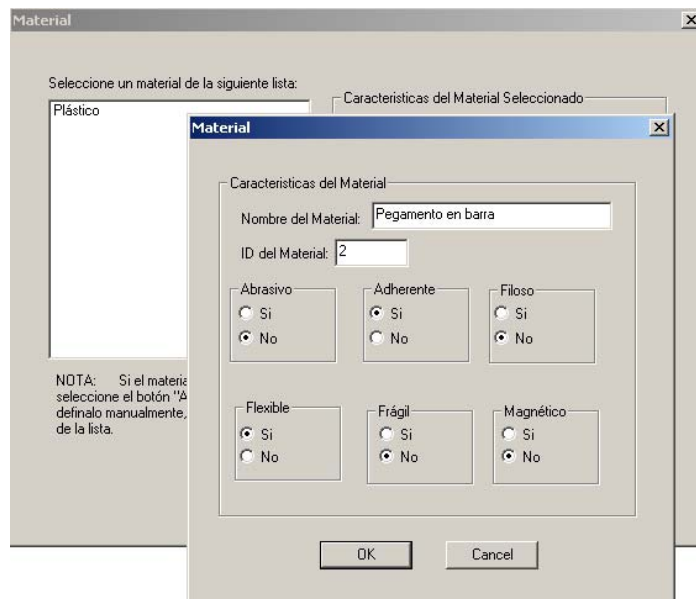


figura 41. Agregando el material pegamento.

## COMPONENTE “BASE PRINCIPAL”

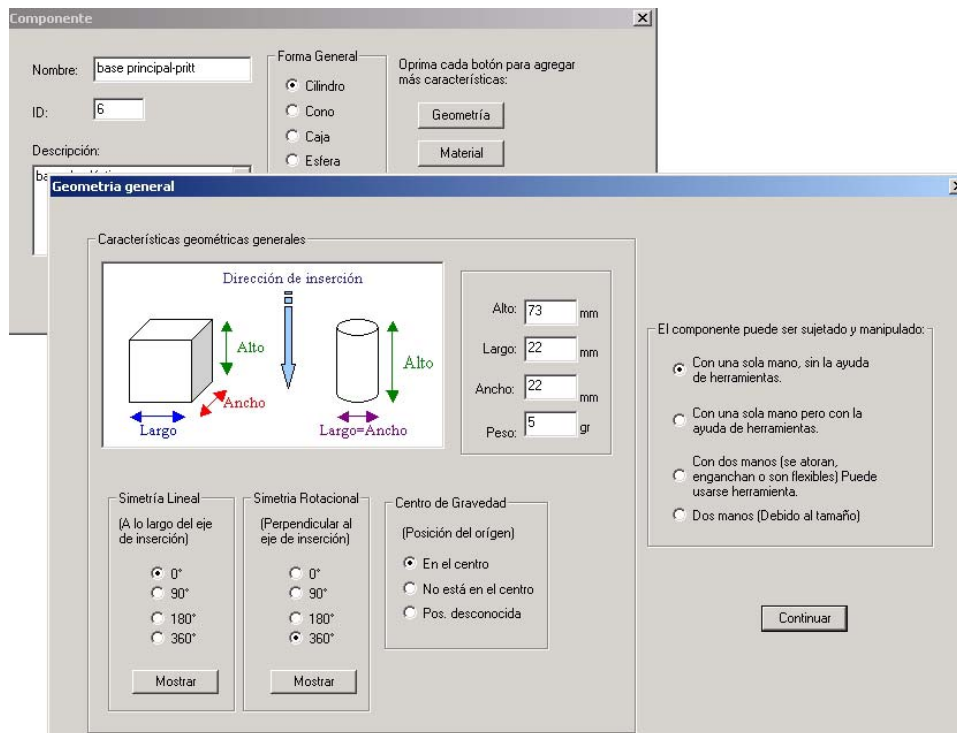


figura 42. Definición del componente base principal.

Una vez definidos todos los componentes se comienza a definir los subensambles.

## SUBENSAMBLE “BASE PRINCIPAL-CUBIERTA EXTERIOR”

Este subensamble está formado por el pegamento y la base para el pegamento. Para definirlo se selecciona la opción correspondiente, como se muestra en la figura 50.

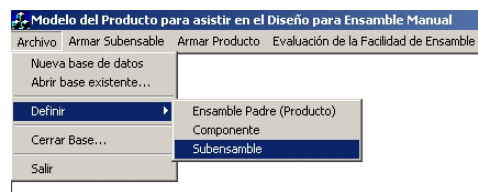


figura 43. Para definir un subensamble

Y la geometría general del subensamble se define de manera similar a los componentes:



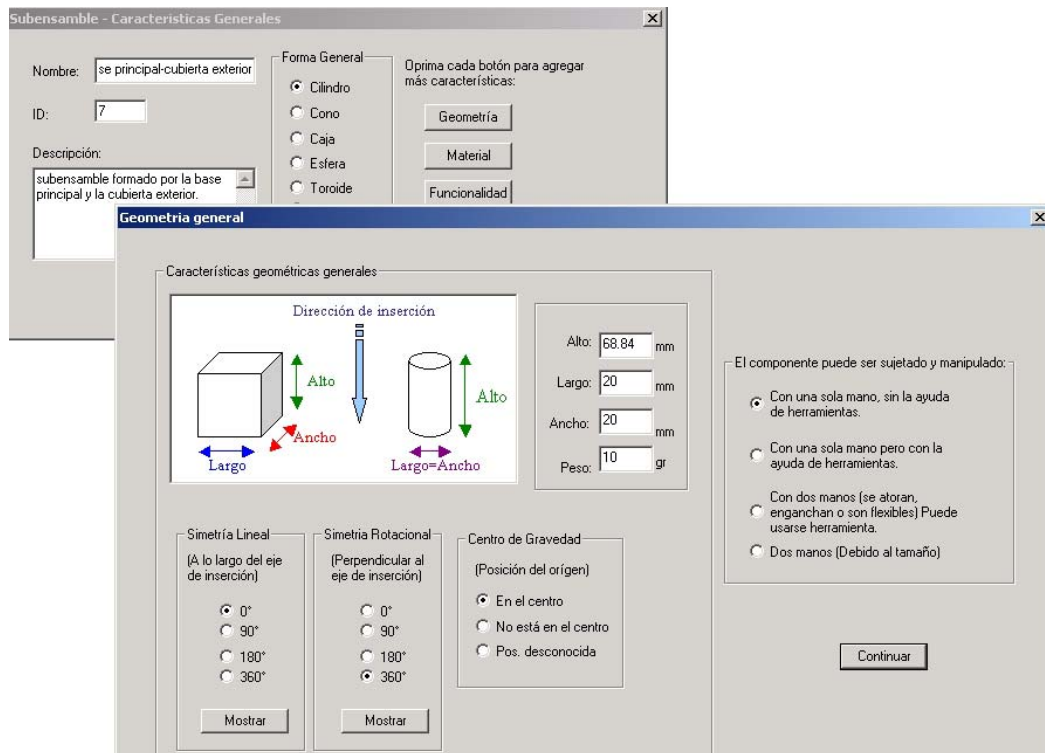


figura 44. Definición del subensamblado base principal-cubierta exterior.

Una vez definido el subensamblado se agregan los componentes que lo integran, en este caso el pegamento y la base para pegamento. Para agregarlos se selecciona el menú “Armar subensamblado” y la opción “Agregar componente a un subensamblado”, como se muestra en la figura 52.

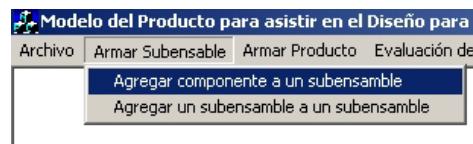
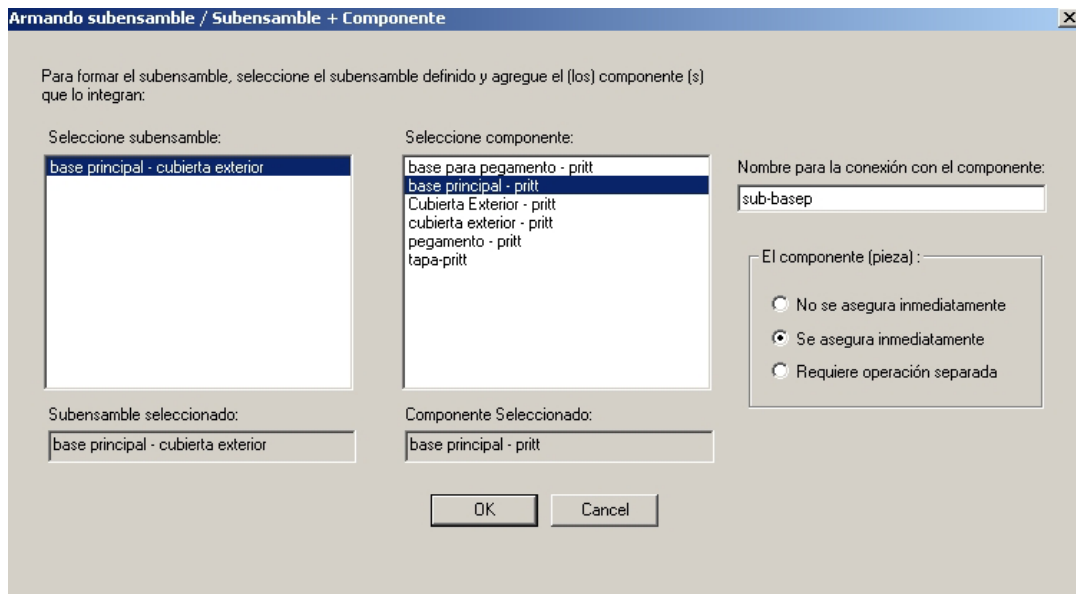


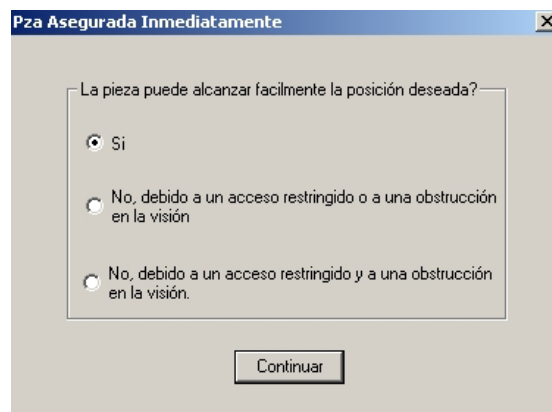
figura 45. Para agregar un componente a un subensamblado

A continuación aparecerá un diálogo mostrando la lista de subensamblados y la de componentes, de las cuales se debe elegir el subensamblado que se quiere formar y los componentes que lo integran.

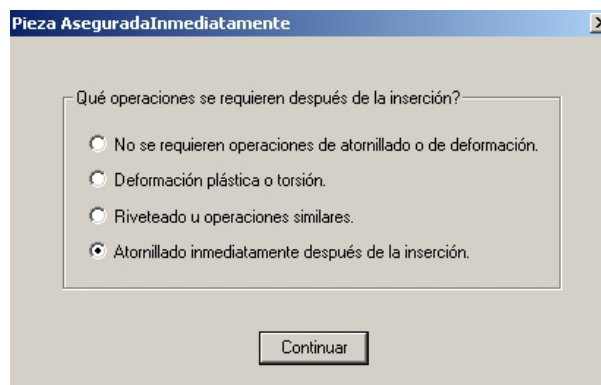


**figura 46. Armand el subensamble base principal-cubierta exterior.**

En este momento se empiezan a utilizar los criterios de Boothroyd para la inserción de las piezas.



**figura 47. Criterios de Boothroyd para el posicionamiento de la pieza**



**figura 48. Criterios de Boothroyd para operaciones después de la inserción**

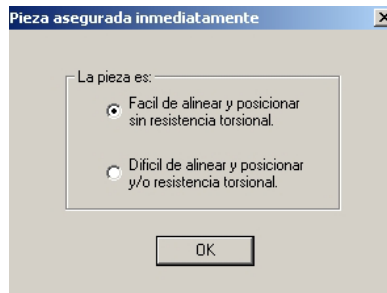


figura 49. Criterios de Boothroyd para la alineación de la pieza

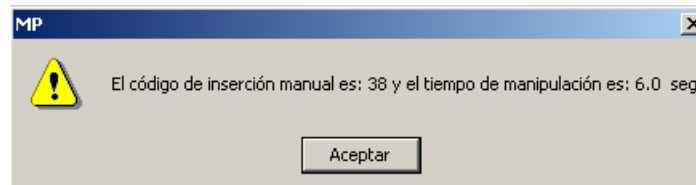


figura 50. Código y tiempo de inserción

Y de manera similar se definen los demás subensambles.

### **PASO 3. ARMAR EL PRODUCTO**

Una vez que se tienen definidos todos los componentes y subensambles, se arma el producto. Para hacer esto del menú se selecciona la opción “Armar Producto”, y cualquiera de las opciones de acuerdo a si se va a agregar un componente o un subensamblable.

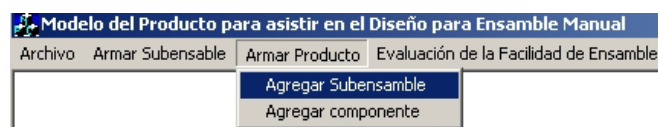
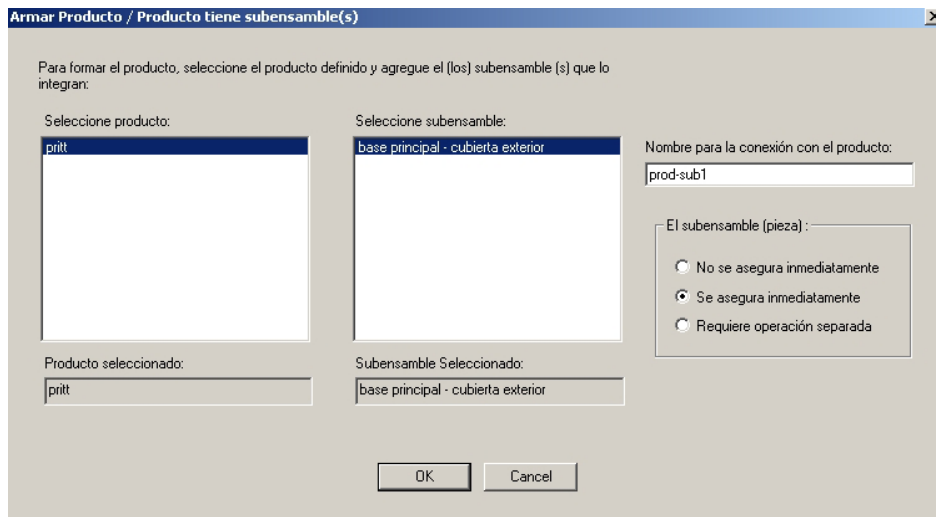


figura 51. Armar producto.

Para agregar un subensamblable, se selecciona el producto a donde se desea agregar, y se especifica un nombre para la conexión entre el producto y el subensamblable.

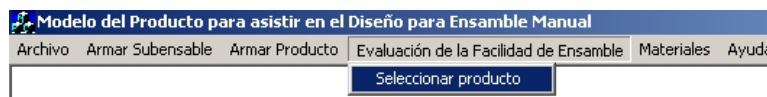


**figura 52. Armando un producto (agregando un subensamblable)**

De manera similar se hace con los componentes.

#### **PASO 4. EVALUACIÓN DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLE**

Una vez que se han agregado los subensambles y componentes que integran el producto, se puede llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble. Esta opción está disponible en la barra de menú, como se muestra en la figura 53.



**figura 53. Opción para evaluar la facilidad de ensamble.**

Esta acción abrirá un diálogo como el que se muestra en la figura 54, donde seleccionando el producto podremos ver los componentes y subensambles que lo forman, además de los códigos y tiempos de manipulación e inserción de los componentes y subensambles.

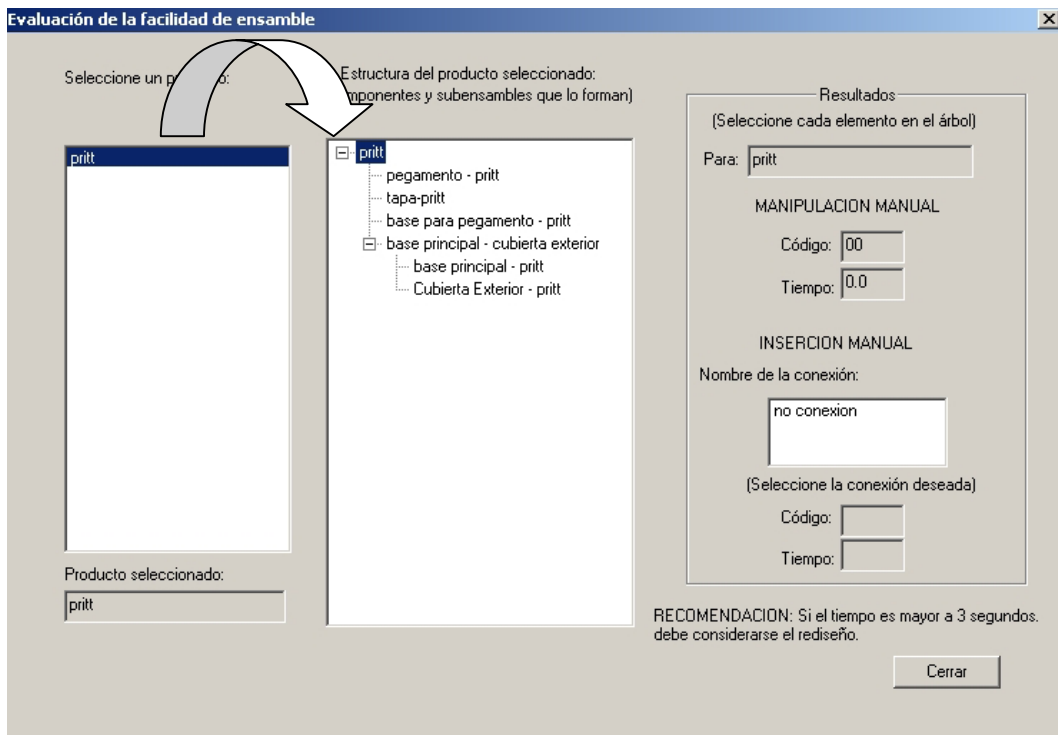


figura 54. Desplegando los componentes y subsensamles que integran al producto

Al seleccionar algún componentes o subsensamle que lo forman, se desplegarán el código y tiempo de manipulación para el componente o subsensamle seleccionado. Y al seleccionar la conexión correspondiente se mostrarán el código y tiempo de inserción.

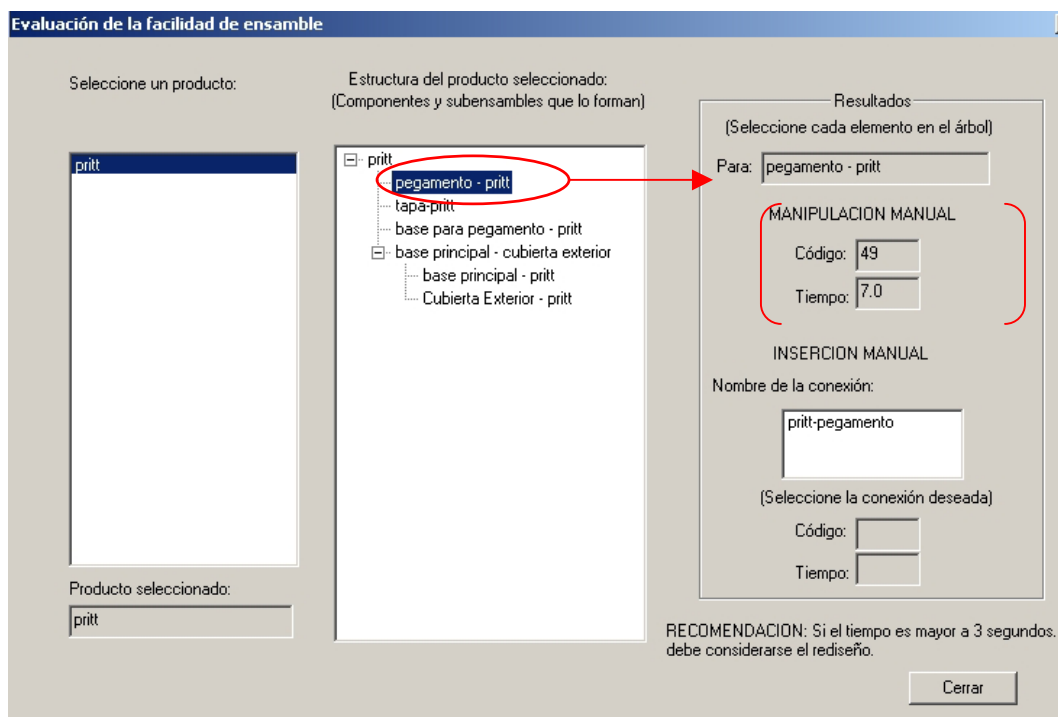


figura 55. Mostrando los resultados de manipulación para el componente “pegamento-pritt”

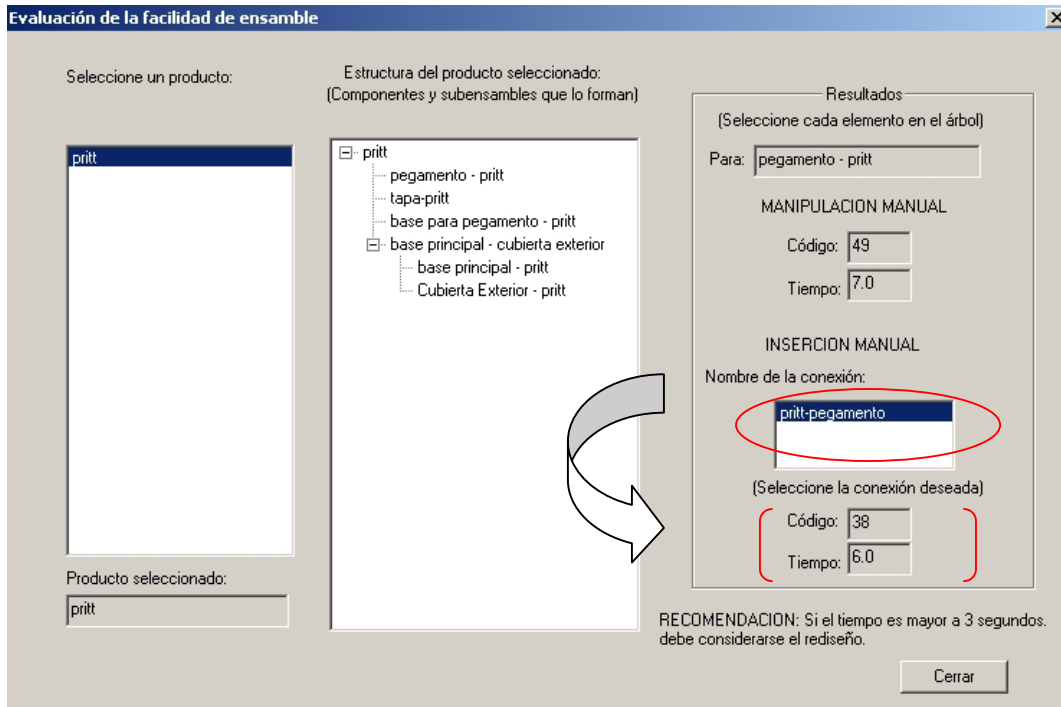


figura 56. Mostrando los resultados para la inserción del componente “pegamento-pritt”

## CONCLUSIONES

Se llevó a cabo una revisión de los diferentes trabajos realizados en las áreas de diseño y manufactura en un ambiente de ingeniería concurrente donde se utilizan los modelos de información. Las estructuras de los modelos de información para el modelo del producto y el modelo de manufactura que permiten capturar información relacionada con el ensamble se habían utilizado solamente para capturar información relacionada con motores eléctricos. En esta tesis se demostró satisfactoriamente que el modelo del producto se puede utilizar para otro tipo de productos.

Así mismo, con la adición de clases en la estructura del modelo del producto se logró llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble, en este caso utilizando los criterios del método de Boothroyd para ensamble manual, dentro de un ambiente de ingeniería concurrente, por medio de un caso de estudio en el cual se capturó la información de diferentes artículos de papelería, con lo cual se cumple el objetivo principal del presente trabajo.

Además, se puede afirmar que si el modelo del producto sirvió para almacenar tanto productos con una gran cantidad de componentes como sencillos, y llevar a cabo la evaluación de la facilidad de ensamble con las modificaciones que se le hicieron, se puede utilizar la estructura del modelo del producto propuesta en esta tesis para dar soporte a aplicaciones en ingeniería concurrente para cualquier tipo de productos.

## APÉNDICE A

# METODOLOGÍA DE BOOTHROYD PARA ENSAMBLE MANUAL

Como resultado de la experiencia en aplicar DFA, ha sido posible desarrollar reglas generales que intentan consolidar el conocimiento de manufactura y presentarlo al diseñador en forma de reglas sencillas a ser seguidas cuando se diseña.

El proceso del ensamble manual puede ser dividido en dos áreas separadas: manipulación (tomar, orientar y mover las partes) e inserción y aseguramiento (acoplar una parte a otra parte o grupo de partes).

### REGLAS PARA MANIPULACIÓN

Diseñar partes que sean simétricas y que tengan una rotación simétrica con respecto al eje de inserción. Si esto no es posible, tratar de diseñar partes que tengan la mayor simetría posible (ver figura A 1a).

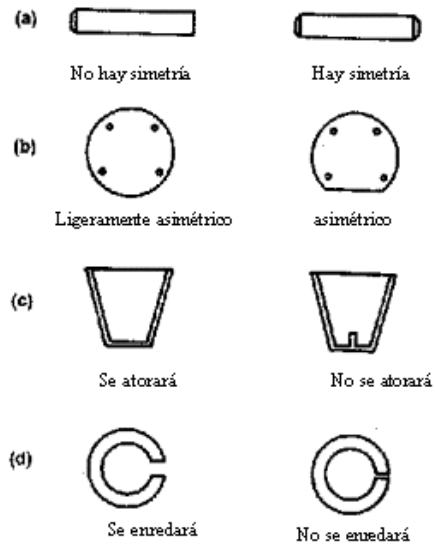
Diseñar partes que, en aquellas instancias en donde la parte no pueda ser hecha simétricamente, sea obviamente asimétrica (ver figura A 1b).

Proporcionar características que prevengan la interferencia entre partes que tienden a anidarse o apilarse cuando son almacenadas en volumen (ver figura A 1c).

Evitar características que permitan que las partes se enreden cuando son almacenadas en volumen (ver figura A 1d)

Evitar partes que se peguen o sean resbaladizas, delicadas, flexibles, muy pequeñas o muy grandes, o que sean peligrosas al manipularlas (por ejemplo, partes afiladas o puntiagudas, partes que se fragmenten fácilmente, etc.) (ver figura A 2)





A 1

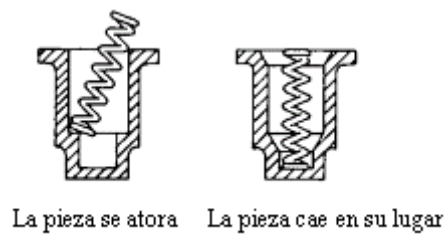


A 2

## REGLAS PARA INSERCIÓN Y ASEGURAMIENTO

Para una inserción fácil el diseñador debe:

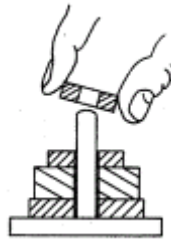
Diseñar de tal forma que haya un poco o nada de resistencia a la inserción y proporcionar chaflanes para guiar la inserción (figura A 3).



A 3

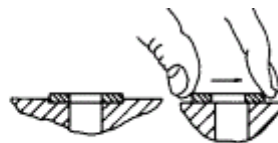
Se deben proporcionar espacios para que las piezas entren, pero se debe tener cuidado de que el espacio no sea tan grande que queden sueltas o que sea justo y las piezas se atoren al entrar.

Utilizar el ensamble en forma de pirámide, el cual permite un ensamble progresivo de acuerdo a un eje de referencia (figura A 4).



A 4

Evitar, en lo que sea posible, la necesidad de sostener partes para mantener su orientación durante el subensamble o durante la colocación de cualquier otra parte (figura A 5). Si se requiere sostener, tratar de diseñar de manera que la pieza sea asegurada tan rápido como sea posible después de haber sido insertada.

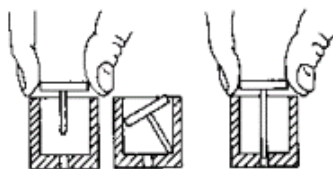


Autoposicionamiento

Se requiere sostener y alinear en operaciones subsecuentes

A 5

Diseñar de manera que la parte sea ubicada antes de soltarla. Una fuente potencial de problemas en la colocación de una parte se debe en parte a las restricciones de diseño (figura A 6).



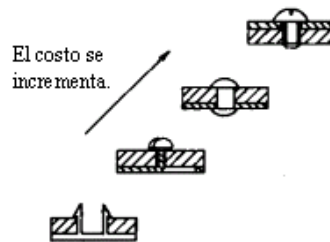
La pieza se debe soltar antes de que sea ubicada.

La pieza es ubicada antes de soltarla.

A 6

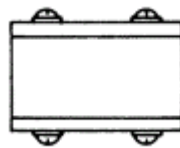
Cuando se utilicen sujetadores mecánicos comunes, considerar la siguiente secuencia, la cual indica el costo relativo del proceso, listado de acuerdo al incremento del costo de ensamble manual (figura A 7).

1. Presión
2. Deformación plástica
3. Remachado
4. Atornillado



A 7

Evitar la necesidad de reposicionar el ensamble parcialmente completado. (ver figura A 8)



A 8

Estas reglas proporcionan al diseñador la información apropiada para ser utilizada al desarrollar un diseño de un producto que sea más fácil de ensamblar.

#### DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA SISTEMÁTICA DE DFA

En 1977 se comenzaron a desarrollar métodos analíticos para determinar el proceso de ensamble más económico para un producto y para analizar la facilidad de ensamble manual, automática y por robots. Estudios experimentales fueron llevados a cabo para medir los efectos de simetría, tamaño, peso, espesor y flexibilidad en tiempos de manipulación manual. Experimentos adicionales fueron conducidos para cuantificar el efecto de las partes adherentes o resbaladizas y la manipulación de una parte utilizando pinzas, el efecto de la geometría elástica al momento de sujetarla y el efecto del peso en

tiempo de manipulación para partes que requieran dos manos para manipulación y sujeción.

De acuerdo al diseño de partes para facilidad de inserción manual, se llevaron a cabo análisis teóricos y experimentales sobre el efecto del diseño del chaflán al momento de la inserción manual, el diseño de partes debe evitar que se atoren durante el ensamble, el efecto de la parte geométrica al momento de inserción, y los efectos de acceso obstruido y visión restringida en operaciones de ensamble.

Un sistema de clasificación y codificación para el proceso de manipulación, inserción y sujeción, basado en los resultados de estos estudios, fue presentado en forma de tablas para ser utilizado en la estimación de tiempos de ensamble manual. Para evaluar la efectividad de este método, la facilidad de ensamble de una motosierra de dos velocidades fue analizada, y fue rediseñada para un ensamble sencillo. El diseño inicial de la motosierra tenía 41 partes y un tiempo de ensamble estimado de 6.31 minutos. El rediseño tuvo 29 partes y un tiempo de ensamble estimado de 2.58 minutos, es decir, se redujo un 29% de las partes y un 59% del tiempo de ensamble estimado.

#### EFICIENCIA DE ENSAMBLE

Un ingrediente esencial del método de DFA es el uso de una medida de la eficiencia de ensamble de un diseño propuesto.

En general, los dos factores principales que influyen en el costo de ensamble de un producto o sub-ensamble son : (1) El número total de partes de un producto, y (2) la facilidad de manipulación, inserción y sujeción de las partes. El término *eficiencia de ensamble* es utilizado para denotar una cifra obtenida de dividir el tiempo de ensamble mínimo entre el tiempo de ensamble actual. La ecuación para calcular la eficiencia del ensamble manual ( $E_{ma}$ ) es:

$$E_{ma} = N_{min} t_a / t_{ma}$$

Donde  $N_{min}$  es el número mínimo de partes,  $t_a$  el tiempo de ensamble esencial para una parte, y  $t_{ma}$  es el tiempo estimado para completar el ensamble de un producto actual. El tiempo de ensamble esencial es un tiempo promedio para una parte que no presenta dificultades de manipulación, inserción y sujeción. El tiempo de ensamble esencial es 3

segundos, de acuerdo a las investigaciones realizadas por Boothroyd a lo largo de 20 años.

La cifra para el número mínimo de partes representa una situación ideal en la cual partes separadas son combinadas en una única parte, y cada parte es adicionada al ensamble, y se debe considerar uno de los siguientes criterios:

La parte se mueve en relación a todas las otras partes ensambladas.

La parte debe ser de un material diferente al de las otras partes.

La parte debe ser separada de las otras partes ensambladas; de otra manera, el ensamble de las partes no cumpliría con alguno de los criterios anteriores.

Sistema de clasificación para manipulación manual.

El sistema de clasificación para el proceso de manipulación manual es un arreglo sistemático de las características de las partes para identificar diferentes niveles de dificultad de manipulación. Las características de las partes que afectan significativamente a la manipulación manual son:

- Tamaño
- Grosor
- Peso
- Anidación
- Si la parte tiende a enredarse
- Fragilidad
- Flexibilidad
- Si la parte tiende a resbalarse
- Si la parte tiende a adherirse
- Necesidad de utilizar las dos manos
- Necesidad de utilizar una herramienta de sujeción
- Necesidad de amplificación óptica
- Necesidad de asistencia mecánica

El sistema de clasificación para el proceso de manipulación manual, con sus definiciones asociadas y sus correspondientes tiempos estándares, se presenta en forma de tabla. La clasificación consiste de dos dígitos. El primer dígito se divide en cuatro grupos principales:

- I. Primer dígito (0-3) Partes de tamaño nominal y peso que son fáciles de sostener y manipular con una mano(sin la ayuda de herramientas).
- II. Primer dígito (4-7)Partes que requieren herramientas para sujeción porque su tamaño es muy pequeño.
- III. Primer dígito (8) Partes que comúnmente se enganchan
- IV. Primer digito (9) Partes que requieren dos manos, dos personas, o asistencia mecánica para sujetarlas.

Los grupos I y II están además subdivididos en categorías que representan la orientación requerida, basada en la simetría de la parte.

El segundo dígito del código de manipulación está basado en las características como flexibilidad, fragilidad, si la pieza es resbaladiza o se adhiere, o si se anida. El segundo dígito también depende de los grupos del primer dígito de la siguiente manera:

- I. Para el primer digito (0-3) El segundo digito clasifica la adherencia y el tamaño de la parte.
- II. Para el primer digito (4-7)El segundo digito clasifica la adherencia, tipo de herramienta requerida para sujetar la parte, y la necesidad de utilizar magnificación óptica durante el proceso de manipulación.
- III. Para el primer digito (8) El segundo dígito clasifica el tamaño y simetría de una parte.
- IV. Para el primer digito (9) El segundo digito clasifica la simetría, peso, y las características de enganche de la parte.

#### SISTEMA DE CLASIFICACIÓN PARA INSERCIÓN Y SUJECIÓN MANUAL

El sistema de clasificación para el proceso de inserción y sujeción manual está relacionado con la interacción entre las partes. Este proceso consiste en una variedad

finita de tareas básicas de ensamble que son comunes en la mayoría de los productos manufacturados. Las características de diseño que significativamente afectan a este proceso son:

- Accesibilidad al lugar del ensamble
- Facilidad de operación de la herramienta de ensamble
- Visibilidad del lugar de ensamble
- Facilidad de alineación y posicionamiento durante el ensamble
- Profundidad de la inserción

El correspondiente sistema de clasificación y sus definiciones asociadas y tiempos estándares son representados también en forma de tabla.

El código de dos dígitos va de 00 a 99. El primer dígito está dividido en tres grupos:

- I. Primer dígito (0-2) Las partes no son aseguradas inmediatamente después de la inserción.
- II. Primer dígito (3-5) La parte se asegura a si misma o a otra parte después de la inserción.
- III. Primer dígito (9) Involucra las partes que ya están colocadas.

Los grupos I y II además están subdivididos en clases que consideran los efectos de obstrucción de acceso y/o visión restringida al momento del ensamble.

El segundo dígito se basa en las divisiones de los grupos del primer dígito:

- I. Para el primer dígito (0-2) El segundo dígito clasifica la facilidad de colocar las piezas y si se requieren sujetar las piezas durante la manipulación para mantener su orientación.
- II. Para el primer dígito (3-5) El segundo dígito clasifica la facilidad de colocar las piezas y si la operación de sujeción involucra una simple presión, una operación de atornillado o un proceso de deformación plástica.
- III. Para el primer dígito (9) El segundo dígito clasifica procesos mecánicos, metalúrgicos o químicos.

Existe un tiempo promedio para la manipulación o inserción y ajuste de las piezas, estos tiempos estándar fueron obtenidos de numerosos experimentos.

#### APLICACIÓN DEL MÉTODO

1. Obtener la mejor información acerca del producto o ensamble.

Algunas ayudas son:

- Planos
- Vistas explosivas tridimensionales
- Un producto existente
- Un prototipo

2. Se debe desensamblar (o imaginar como se podría desensamblar), asignando un número a cada pieza, conforme se retira.

Si el producto contiene subensambles, estos se deben tratar primero como piezas y posteriormente analizarlos por separado.

3. Se debe de llenar la hoja de trabajo (figura A9) de la siguiente manera:

Se debe llenar una fila en la hoja de trabajo para cada pieza, cada columna se detalla a continuación:

- |           |   |
|-----------|---|
| Columna 1 | En esta se anota el número de pieza.  |
| Columna 2 | Se anota el número de veces que se realiza la operación.  |
| Columna 3 | Se indica el código de dos dígitos de manejo de la pieza, a partir de la tabla "Manejo manual-Tiempos estimados". |
| Columna 4 | El tiempo de manejo de la pieza se obtiene de la misma tabla.   |
| Columna 5 | El código del proceso de inserción se obtiene de la tabla "Inserción manual-Tiempos estimados".                   |
| Columna 6 | El tiempo de inserción también se obtiene de esta segunda tabla.  |



los  
Columna 7 El tiempo total en segundos es calculado por medio de la suma de  
los  
tiempos de manejo y de inserción de las columnas (4) y (6) y  
multiplicando esta suma por el número de operaciones de la  
columna  
(2).

Columna 8 El costo total de operación en centavos se obtiene por la  
multiplicación del tiempo de operación de la columna (7) por el  
costo  
de ensamble manual en centavos por segundo.

Columna 9 Es en esta columna donde se indica el número mínimo de piezas  
teórico para el ensamble. Esta columna implica ya un rediseño de  
la  
pieza, para determinar esto, se deben responder las siguientes  
preguntas:

1. Durante la operación del producto, ¿esta pieza se mueve relativamente con respecto a otras piezas ensambladas?. Solamente se deben de considerar los movimientos grandes, ya que los pequeños que se pueden lograr con articulaciones elásticas no representarían una respuesta positiva.

2. ¿La pieza debe ser de un material distinto o permanecer aislada de las otras piezas del ensamble? Solamente se aceptan razones concernientes con las propiedades de los materiales.

3. ¿La pieza debe estar separada de las otras porque de otra manera el ensamble o desensamble sería imposible?

Si la respuesta a alguna de estas preguntas es SI, entonces se debe de colocar un número "1" en la columna (9), excepto el caso en el que se han indicado múltiples operaciones en la columna (2), en cuyo caso el número de piezas debe ser separado y colocado en la columna (9).

4. Se comienza el reensamble del producto. Primero se ensambla la pieza con el más alto número de identificación, añadiendo las piezas restantes una por una. Para utilizar correctamente este procedimiento de análisis, nunca se debe asumir que se puede sujetar una pieza en cada mano, y ensamblarlas antes de colocarlas en el ensamble.

5. Cuando se han completado todas las columnas (el reensamble se ha concluido) los números de la columna (7) se suman para obtener el tiempo total estimado para el ensamble manual. Los de la columna (8) se suman para obtener el costo total del ensamble y los de la columna (9) para obtener el número mínimo teórico de piezas para completar el ensamble.

6. Finalmente, se calcula la eficiencia del ensamble manual, sustituyendo los valores en la ecuación correspondiente.

Esta ecuación compara el tiempo estimado de ensamble para un producto que contenga el número mínimo de piezas de las cuales cada una puede ser ensamblada en el tiempo "ideal" de 3 segundos. Este tiempo "ideal" se obtiene al asumir que cada pieza es fácil de sujetar y de insertar. Además, aproximadamente un tercio de las piezas se aseguran inmediatamente en la inserción.

NOTAS:

- a) En el método de análisis se asume que las piezas se añaden al ensamble una por una. Esto se hace para separar el análisis de cada pieza y su operación de ensamble. Sin embargo, en muchos casos los obreros sujetan piezas con las dos manos, las subensamblan y posteriormente las unen al ensamble total, en estas circunstancias el tiempo de ensamble se puede reducir en un tercio. En este caso, el tiempo obtenido para la operación se debe dividir entre 1.5.
- b) Se asume que las piezas se presentan al granel y orientadas aleatoriamente. Algunas veces se pueden tener las piezas en magazines o contenedores especiales. De nuevo, el diseñador debe tomar esto en cuenta para obtener tiempos más precisos.



## APÉNDICE B

### IDEFØ

#### ANTECEDENTES

Beneficios tecnológicos, económicos y estratégicos significantes pueden ser obtenidos a través de la efectiva captura, control y manejo de los recursos de información y conocimiento. Como mano de obra, materiales y máquinas, información y conocimiento están reconocidos como recursos vitales que pueden ser influenciados para lograr una ventaja competitiva.

El programa de Integración de Información de la Fuerza Aérea de los E.U. para la Ingeniería Concurrente (IICE), patrocinado por Armstrong Laboratory's Logistic Research División, fue establecido como parte de un compromiso para promover el desarrollo de tecnologías que habilitarán el uso completo de estos recursos.

El programa IICE fue creado con el desarrollo de fundamentos teóricos, métodos, y herramientas para evolucionar satisfactoriamente hacia empresas de información integrada. Estas tecnologías están diseñadas para influenciar recursos de información y conocimiento como la llave que permitirá sistemas de alta calidad que consigan mejor desempeño en términos de costo y eficiencia del ciclo de vida del producto.

El nombre IDEF se origina en el programa de Manufactura Integrada Asistida por Computadora de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (ICAM) el cual desarrolló los métodos IDEF.

Recientemente, con la expansión y uso de los métodos IDEF como parte de la Ingeniería Concurrente, el acrónimo IDEF ha sido reconsiderado como una familia integrada de métodos de definición de integración.

Los métodos IDEF facilitan de manera confiable y efectiva la conclusión de tareas específicas en el desarrollo de procesos. Los métodos IDEF, cuando se aplican de manera individual promueven un buen desempeño de la tarea para la cual el método fue

diseñado (por ejemplo, definición de requerimientos de información, captura del proceso del conocimiento, diseño de sistemas orientados a objeto). Los métodos IDEF también están diseñados para trabajar conjuntamente conceptualmente como una serie de métodos integrados para soportar el desarrollo completo del proceso de diseño.

El método IDEF que se utilizó para el desarrollo del presente trabajo fue el método IDEFØ, el cual se explica a continuación.

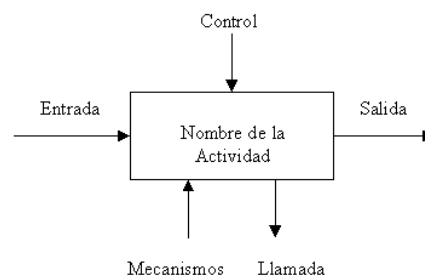
## ENFOQUE

IDEFØ es una metodología utilizada para modelar actividades desarrolladas por un sistema o empresa, y las relaciones funcionales y datos (información u objetos) que soportan la integración de aquellas actividades.

Un modelo IDEFØ está compuesto de una serie jerárquica de diagramas que despliegan niveles de actividades descritas a detalle y sus interfaces dentro del contexto del sistema.

Los componentes principales de IDEFØ son actividades, datos y objetos. Las actividades están representadas por cajas o recuadros; los datos y objetos están representados por flechas.

La representación básica se muestra en la figura B 1.



### B 1. Componentes principales de IDEFØ

El nombre de la actividad (dentro de la caja) debe ser un verbo o una frase verbal. La posición de las flechas alrededor de la caja representan diferentes cosas, las flechas entrando del lado izquierdo a la caja representan las entradas, que son transformadas por la actividad para producir las salidas. Las flechas entrando a la caja por la parte

superior son los controles. Los controles especifican las condiciones requeridas por la actividad para producir salidas correctas. Las flechas dejando la caja del lado derecho son las salidas, los datos u objetos producidos por la actividad. Las flechas en la parte inferior de la caja representan mecanismos, las flechas entrando a la caja identifican entradas que soportan la ejecución de la actividad. Otras pueden ser heredadas de la caja padre. Las flechas hacia abajo son flechas de llamada o conexión. Las conexiones habilitan la posibilidad de compartir a detalle la información entre modelos (estableciendo una liga entre ellos) o entre porciones del mismo modelo.

El primer paso aplicando la metodología IDEFØ es la definición del contexto sobre el cual el modelo está hecho. El diagrama del nivel más alto en el modelo IDEFØ es conocido como el “ambiente” y se le designa el número A-0. Este es utilizado para establecer el ambiente en el cual el modelo existe e identifica las entradas, salidas y controles que cruzan la frontera del modelo.

Una actividad representada por una caja puede ser descompuesta en sub-actividades creando un diagrama hijo. Y cada una de estas sub-actividades puede ser descompuesta creando otro sub-nivel del diagrama hijo. Cada diagrama hijo debe heredar las mismas flechas de entradas o salidas de la actividad padre. La figura 2 muestra la descomposición de algunos diagramas de IDEFØ.

La metodología de IDEFØ puede ser aplicada para analizar un sistema existente, de manera que el resultado es un modelo “como es”. Esta metodología puede también ser aplicada para obtener un modelo “como debería ser”. El modelo “como es” permite evaluar la situación presente del sistema y el modelo “como debería ser” ayuda a definir las estrategias a seguir para improvisar el sistema describiendo el flujo de la información necesaria para soportar cada actividad [Dorador, 2001].

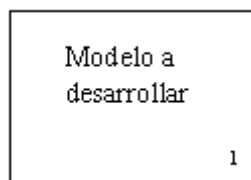
## SINTAXIS Y SEMÁNTICA

Los componentes y las características de un lenguaje y las reglas que definen las relaciones entre ellos son referidos como sintaxis del lenguaje. Los componentes de la sintaxis de IDEFØ son cajas y flechas, reglas y diagramas. Las cajas representan actividades. Las flechas representan datos u objetos relacionados a las actividades. Las

reglas definen como los componentes son utilizados, y los diagramas proporcionan un formato para representar modelos, verbal y gráficamente.

## CAJAS

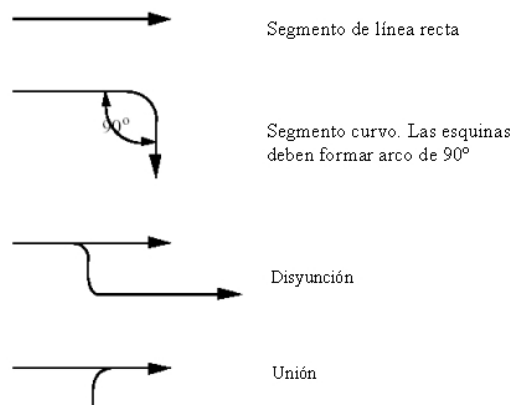
Una caja proporciona una descripción de que sucede en una actividad designada. Una caja típica se muestra en la figura B 2. Cada caja debe tener un nombre y un número dentro de los bordes de la caja. El nombre debe ser un verbo activo o una frase verbal que describa la actividad. Cada caja en el diagrama debe contener un número de caja en la esquina inferior derecha de la caja. Los números son utilizados para identificar a la caja.



**B 2. Sintaxis de la caja**

## FLECHAS

Una flecha está compuesta de uno o más segmentos de línea, con una cabeza terminal en uno de los extremos, como se muestra en la figura B 3, los segmentos pueden ser rectos o curvos (con un arco de 90° conectando las partes vertical y horizontal), y pueden tener configuraciones (bifurcación o unión). Las flechas no significan flujo o secuencia como en el tradicional diagrama de flujo. Las flechas llevan datos u objetos relacionados a la actividad a ser ejecutada.



**B 3. Sintaxis de las flechas**

## REGLAS

### Cajas

1. Las cajas deben tener el tamaño adecuado para insertar el nombre de la caja.
2. Las cajas deben tener forma rectangular, con esquinas cuadradas.
3. Las cajas deben ser dibujadas con líneas sólidas.

### Flechas

1. Las flechas que doblan deben utilizar solo arcos de 90°.
2. Las flechas deben dibujarse solo con líneas sólidas.
3. Las flechas deben dibujarse vertical u horizontalmente, no en diagonal.
4. Las flechas deben tocar el perímetro de la caja y no atravesar la caja.
5. Las flechas deben destinarse a los lados de la caja, no a las esquinas.

## NOMBRES Y ETIQUETAS

Las cajas representan actividades que muestran que deben ser llevadas a cabo. Un nombre de actividad debe ser un verbo activo o frase verbal, por ejemplo:

Las flechas identifican datos u objetos necesarios o producidos por la actividad. Cada flecha debe ser etiquetada con un sustantivo o frase, por ejemplo:


Especificaciones	Reporte de evaluación
Requerimientos de diseño	Diseño de detalle
Ingeniero de diseño	Requerimientos

Un ejemplo mostrando las etiquetas de las flechas y los nombres de las cajas se muestra en la figura B 1.

## REGLAS

1. Una caja debe ser nombrada con un verbo activo o una frase verbal.
2. Cada lado de una caja debe tener una relación estándar caja/flecha:
  - a) Las flechas de entrada deben estar del lado izquierdo de la caja.
  - b) Las flechas de control deben estar en el tope de la caja.
  - c) Las flechas de salida deben estar del lado derecho de la caja.



- d) Las flechas de mecanismos (excepto flechas de llamada o conexión) deben entrar a la parte inferior de la caja.
  - e) Los mecanismos de llamada deben salir de la parte inferior de la caja, y debe ser etiquetada con la expresión de referencia....
3. Los segmentos de flecha, excepto flechas de llamada, deben ser etiquetados con un sustantivo o frase a menos que....
  4. Un “squiggle” () debe ser utilizado para asociar una etiqueta a una flecha, a menos que la relación flecha/etiqueta sea obvia.
  5. Las etiquetas no consisten solamente de cualquiera de los siguientes términos: actividad, entrada, control, salida, mecanismo o llamada.

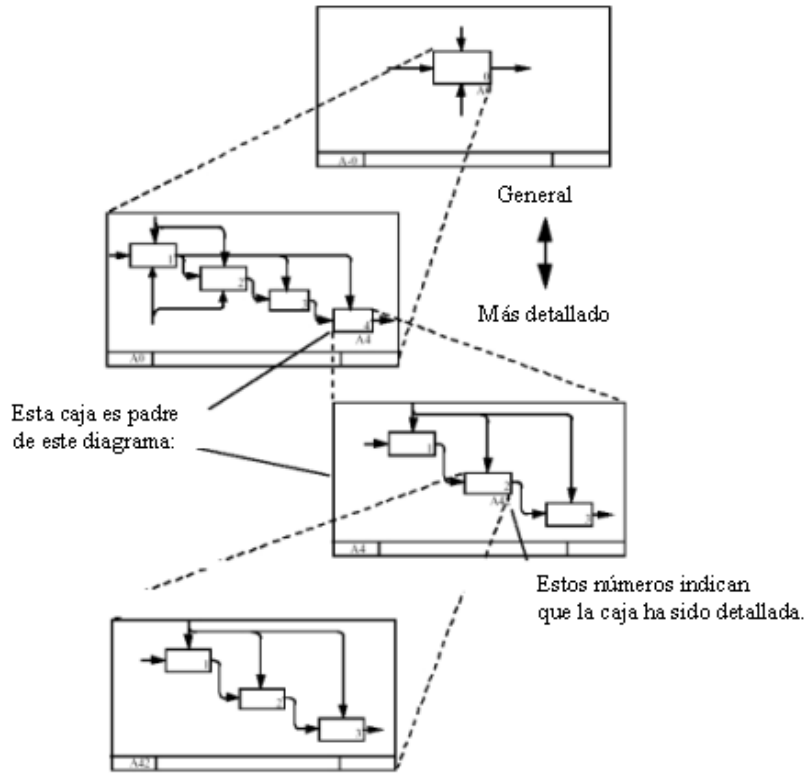
## DIAGRAMAS IDEFØ

### TIPOS DE DIAGRAMAS.

Los modelos IDEFØ están compuestos de tres tipos de información: diagramas gráficos, texto y glosario. Estos tipos de diagramas son de referencia cruzada unos con otros. El diagrama gráfico es el componente principal de un modelo IDEFØ, conteniendo cajas, flechas, interconexiones caja/flecha y relaciones asociadas. Las cajas representan las actividades. Estas actividades son descompuestas en diagramas más detallados, hasta que el tópico sea descrito al nivel necesario para soportar las metas de un proyecto en particular.

El diagrama del nivel más alto en el modelo proporciona la descripción más general o abstracta del tópico representado por el modelo.

La figura muestra como se va descomponiendo del diagrama general a lo más detallado.



#### B 4. Descomposición del diagrama general

## APÉNDICE C

### UML

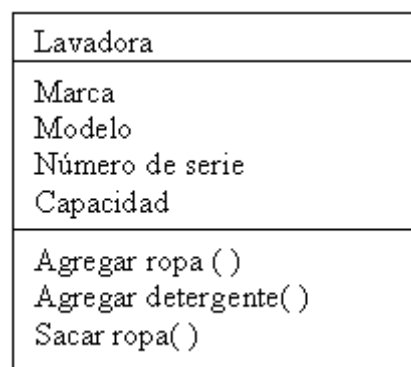
El lenguaje de modelado unificado (Unified Modelling Language) es el resultado de la integración de tres métodos de modelado: Booch, OMT y Objectory.

UML es un lenguaje utilizado para especificar, visualizar y documentar los componentes de un sistema orientado a objetos bajo desarrollo.

Los elementos que son utilizados en la construcción de los modelos son: Diagrama de clases, diagrama de objetos, diagrama de casos de uso, diagrama de estados, diagrama de secuencias, diagrama de actividades, diagrama de colaboraciones, diagrama de componentes, diagrama de distribución,

#### DIAGRAMA DE CLASES

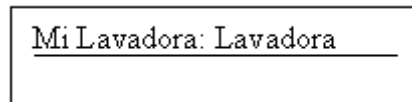
Una clase es una categoría o grupo de cosas que tienen atributos y acciones similares. La siguiente figura muestra un ejemplo en el cual se capturan los atributos y acciones de una lavadora. El área superior contiene el nombre de la clase, el área central contiene los atributos, y el área inferior las acciones.



**C 1. Diagrama de clases**

## DIAGRAMA DE OBJETOS

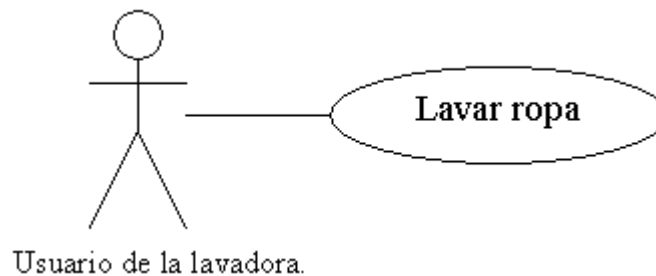
Un objeto es una instancia de clase (una entidad que tiene valores específicos de los atributos y acciones).



**C 2. Diagrama de objetos.**

## DIAGRAMA DE CASOS DE USO

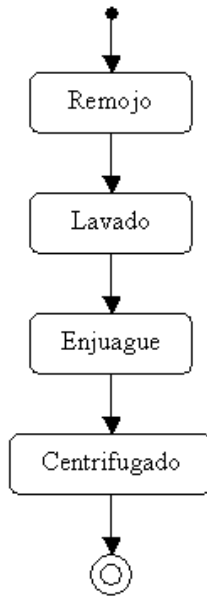
Un caso de uso es una descripción de las acciones de un sistema desde el punto de vista del usuario. Para los desarrolladores del sistema, ésta es una herramienta valiosa, ya que es una técnica de aciertos y errores para obtener los requerimientos del sistema desde el punto de vista del usuario. Esto es importante si la finalidad es crear un sistema que pueda ser utilizado por la gente en general y no solo por expertos en computación.



**C 3. Diagrama de casos de uso**

## DIAGRAMA DE ESTADOS

En cualquier momento un objeto se encuentra en un estado en particular. Por ejemplo, un elevador se moverá hacia arriba, estará en estado de reposo o se moverá hacia abajo. Una lavadora podrá estar en la fase de remojo, lavado, enjuague, centrifugado o apagada. La siguiente figura muestra las transiciones de la lavadora de un estado a otro.



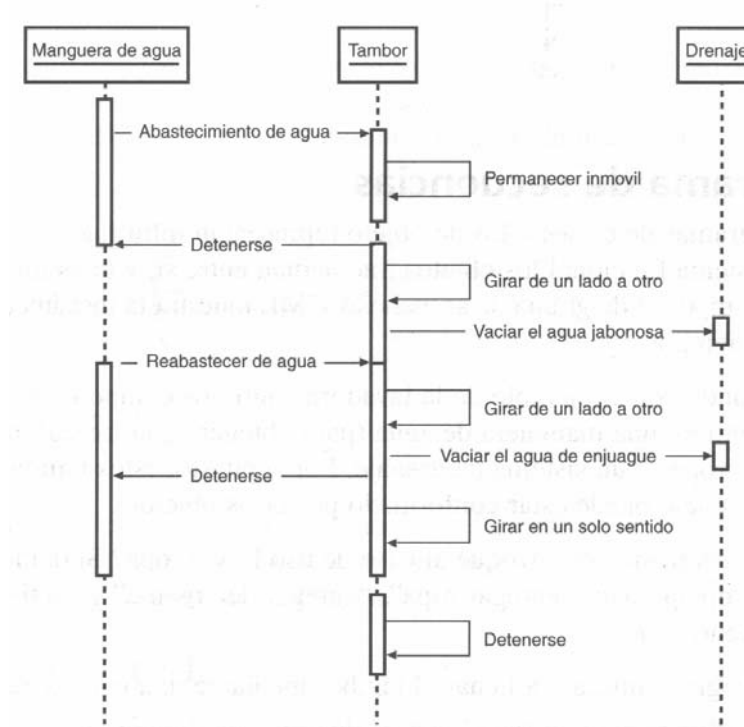
**C 4. Diagrama de estados**

#### DIAGRAMA DE SECUENCIAS

Los diagramas de clases y objeto representan información estática. No obstante, en un sistema funcional los objetos interactúan entre sí, y tales interacciones suceden con el tiempo. El diagrama de secuencias muestra la mecánica de la interacción con base en tiempos. Tomando el ejemplo de la lavadora, y suponiendo que se completaron las operaciones “agregar ropa”, “agregar detergente” y “activar”, la secuencia cuando se invoque al caso de uso “lavar ropa” sería mas o menos así:

1. El agua empezará a llenar el tambor mediante una manguera.
2. El tambor permanecerá inactivo durante cinco minutos.
3. La manguera dejará de abastecer agua.
4. El tambor girará de un lado a otro.
5. El agua jabonosa saldrá por el drenaje.
6. Comenzará nuevamente el abastecimiento de agua.
7. El tambor continuará girando.
8. El abastecimiento de agua se detendrá.
9. El agua del enjuague saldrá por el drenaje.
10. El tambor girará en una sola dirección y se incrementará su velocidad por cinco minutos.
11. El tambor dejará de girar y el proceso de lavado habrá finalizado.

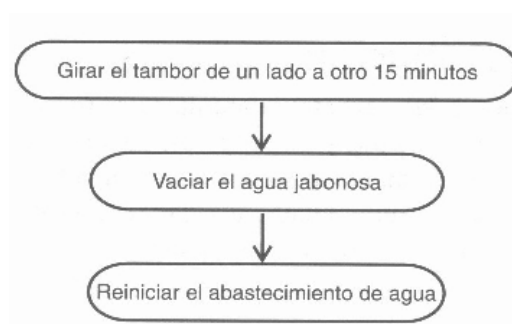
La siguiente figura muestra un diagrama de secuencias que captura las interacciones que se realizan a través del tiempo entre el abastecimiento de agua, el tambor y el drenaje (representados por rectángulos en la parte superior del diagrama). En este diagrama el tiempo se da de arriba hacia abajo.



**C 5. Diagrama de secuencias**

### DIAGRAMA DE ACTIVIDADES

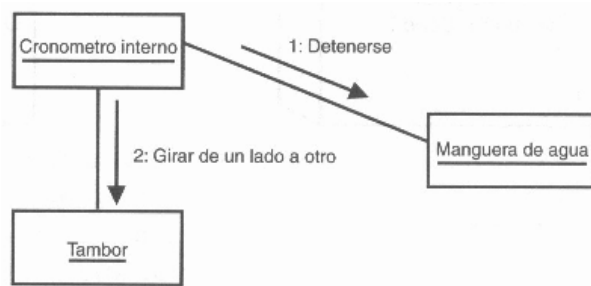
Las actividades que ocurren dentro de un caso de uso o dentro del comportamiento de un objeto se dan normalmente en secuencia. La siguiente figura muestra el diagrama de actividades para algunos pasos del ejemplo de la lavadora.



**C 6. Diagrama de actividades**

## DIAGRAMA DE COLABORACIONES

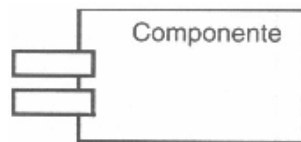
Los elementos de un sistema trabajan en conjunto para cumplir con los objetivos del sistema, y un lenguaje de modelado deberá contar con una forma de representar esto. El diagrama de colaboraciones para el ejemplo de la lavadora se muestra en la siguiente figura.



**C 7. Diagrama de colaboraciones**

## DIAGRAMA DE COMPONENTES

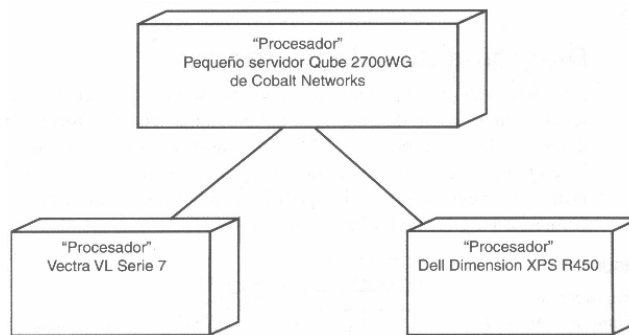
Este diagrama está íntimamente ligado con el desarrollo de software, y justamente representa un componente de software. La siguiente figura muestra la manera en que UML lo representa .



**C 8. Diagrama de un componente**

## DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN

El diagrama de distribución muestra la arquitectura física de un sistema informático. Puede representar los equipos y dispositivos, mostrar sus interconexiones y el software que se encontrará en cada máquina. Cada computadora está representada por un cubo, y las interacciones entre computadoras están representadas por líneas.

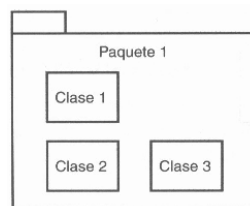


**C 9. Diagrama de distribución**

**OTRAS CARACTERÍSTICAS**

**PAQUETES**

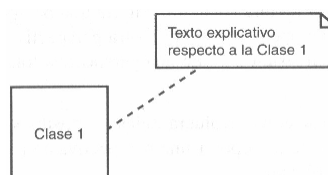
En algunas ocasiones se encontrará la necesidad de organizar los elementos de un diagrama en un grupo. Tal vez se requiera mostrar que ciertas clases o componentes son parte de un subsistema en particular. Para ello se agruparán en un paquete, que se representará por una carpeta, como se muestra en la siguiente figura.



**C 10. Paquetes**

**NOTAS**

Es frecuente que alguna parte del diagrama no presente una abundante explicación del porque está allí o la manera en que trabaja. Cuando este sea el caso, poner una nota será útil. La nota es un rectángulo con una esquina doblada, y dentro del rectángulo se coloca la explicación. La nota se adjunta al elemento del diagrama mediante una línea discontinua.

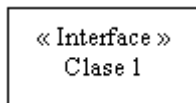


**C 11. Notas**



## ESTEREOTIPOS

Los estereotipos o clisés permiten tomar elementos propios de UML y convertirlos en otros. Un estereotipo se representa con el nombre entre dos pares de paréntesis angulares. Por ejemplo, una interfaz es una clase que realiza operaciones y que no tiene atributos, es un conjunto de acciones que tal vez se requiera utilizar una y otra vez en su modelo, en lugar de inventar un nuevo elemento para representar una interfaz, se podrá utilizar un estereotipo, como se muestra en la siguiente figura.



**C 12. Estereotipo**