

01168

9
Lej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



TESIS

**INGENIERÍA INVERSA EN EL DEPARTAMENTO DE
INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNAM**

P R E S E N T A D A P O R:

VICTOR HUGO JACOBO ARMENDARIZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)**

DIRECTORES DE TESIS:

M.I. RUBEN TELLEZ SÁNCHEZ

M.I. ARMANDO ORTIZ PRADO



CIUDAD UNIVERSITARIA

259237

MARZO 1998

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO DEL EXAMEN DE GRADO

**PRESIDENTE
VOCAL
SECRETARIO
SUPLENTE
SUPLENTE**

**DR. RICARDO ACEVES GARCIA
M. I. RUBEN TELLEZ SÁNCHEZ
M. I. ARMANDO ORTIZ PRADO
DR. JOSE JESUS ACOSTA FLORES
M. I. JAIME FRANCISCO GOMEZ VEGA**

DEDICO ESTE TRABAJO:

Al Maestro Gonzalo Negroe Pérez (q.e.p.d)
Por su apoyo y gran valor

A mi madre Guadalupe Armendariz; a mis hermanos: Guadalupe, Teresa, Juan, Carmen, Pascual, Leticia, Eva y Enrique; a mis sobrinos y familiares.
Por estar siempre conmigo

A Carmen y a Hector Hernández
Por el apoyo que nos han dado

A mis amigos, los de siempre
Por los buenos momentos que hemos vivido

A mi jefe Armando Ortiz, a Sara Cerrud, Fidencio Mendoza y Manuel Correa.
Por todo el tiempo en que hemos estado juntos.

A Dios
Por darme la vida

Sinceramente

Victor Hugo Jacobo Armendariz

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y TABLAS	2
PROLOGO	3
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	4
CAPITULO 2. INGENIERÍA INVERSA	12
2.1. El Concepto de Ingeniería Inversa	13
2.2. Relación Con Otros Conceptos	17
2.3. Experiencias en Aplicaciones de Ingeniería Inversa	18
2.4. Futuro de la Ingeniería Inversa	20
CAPITULO 3. COMPONENTES PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA INVERSA	21
3.1. Grupo de Trabajo	22
3.2. Equipo de Laboratorio	23
3.3. Metodología del Proceso de Ingeniería Inversa	24
3.4. Generación Automática de Prototipos	49
CAPITULO 4. INGENIERÍA INVERSA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA	52
4.1. Departamento de Ingeniería Mecánica	53
4.2. Equipo de Laboratorio	54
4.3. Creación del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa	57
4.4. Metodología para el Desarrollo de Proyectos	59
4.5. Generación Automática de Prototipos	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74
GLOSARIO	82

ÍNDICE DE FIGURAS, CUADROS Y TABLAS

Figura	Pag.
2.1 Comparación entre el Proceso de Diseño Tradicional y el de Ingeniería Inversa	13
3.1 Fases de la Ingeniería Inversa	24
3.2 Análisis Preliminar	26
3.3 Costo y Riesgo de Ingeniería Inversa vs. Tipo de Proyecto	29
3.4 Reporte del Análisis Preliminar	31
3.5 Evaluación y Verificación	33
3.6 Reporte de Evaluación de la Calidad	36
3.7 Reporte de Evaluación y Verificación	38
3.8 Generación de Datos Técnicos	39
3.9 Verificación del Diseño	42
3.10 Variación del Costo y el Riesgo en Relación al Número de Prototipos	43
3.11 Implementación del Diseño	44
3.12 Modelo de Caja Negra de una Máquina	47
3.13 Organización de una Máquina como un Sistema	47
3.14 Generación de Dibujos Utilizando MMC	49
3.15 Palpador Típico	50
4.1 Organigrama del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa del Departamento de Ingeniería Mecánica	58
4.2 Sistema <i>CopyCad</i>	66
4.3 Automatización del Proceso de Ingeniería Inversa	67
 Cuadro 3.1 Normas ASME Referentes a Dibujos del Producto	 41
 Tabla 4.1 Unidades del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa	 57

PROLOGO

Cuando curse mis estudios de licenciatura, conocí por primera vez el concepto de Ingeniería Inversa, el cuál me llamo la atención pues considere que era una poderosa técnica para el beneficio de la industria nacional. Hace tres años tuve la oportunidad de hacerme cargo del Laboratorio de Mediciones Mecánicas del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UNAM, en donde me acerque más a la Ingeniería Inversa. Faltando poco para terminar los créditos de la maestría, decidí desarrollar mi trabajo de tesis sobre esta técnica, al comenzar a investigar me di cuenta que había grandes lagunas en la enseñanza y aplicación del concepto dentro del departamento. Por lo anterior enfoque el estudio a definir una metodología general de Ingeniería Inversa y los elementos necesarios para desarrollarla, esto lo hice con la idea de contar con un sistema para apoyar a la industria en esta área, utilizando la capacidad instalada del departamento y a sus profesionales.

En el capítulo 1 se plantea la necesidad del desarrollo de un grupo de trabajo en Ingeniería Inversa, en el contexto de la situación en la que se encuentra la micro y pequeña industria nacionales. En el capítulo 2 se establece el concepto de Ingeniería Inversa, se dan elementos para dar una idea del estado actual en que se encuentra la técnica y algunos puntos de lo que se espera en un futuro. La propuesta metodológica se define en el capítulo 3 junto con los componentes necesarios para llevarla a cabo, esta metodología se determino investigando la experiencia de otros centros de desarrollo del mundo y con información existente en la literatura. En el capítulo 4 con base en lo definido en el capítulo 3 se establece la estructura para el desarrollo de proyectos de Ingeniería Inversa en el Departamento de Ingeniería Mecánica.

Considero que lo más importante es contar con un método sistémico que permita aplicar mejor el concepto y crear un mayor interés sobre este. Al final del escrito presento un glosario de algunos términos útiles para una mayor comprensión de este trabajo.

Víctor Hugo Jacobo Armendariz
Febrero de 1998

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

- Antecedentes y Justificación
- Problemática
- Propósito y Metodología
- Hipótesis y Objetivo
- Importancia del Estudio
- Limitaciones del Estudio
- La Micro y Pequeña Industria

Antecedentes y Justificación

Hoy en día se presenta una nueva dinámica en la economía mundial, existe un cambio de paradigma y de esta manera se gestan cambios en los diferentes aspectos que mueven a las naciones. Esta nueva era de la globalización, caracterizada por la implementación del libre comercio a escala mundial, hace necesario que los países en desarrollo lleven a cabo cambios acelerados en las formas de producción, pues la competencia no es a nivel local sino que ya se compite con el resto del mundo.

En ese sentido las innovaciones de productos manufacturados deben estar al orden del día atendiendo aspectos fundamentales como la disminución de costos, la calidad y la productividad, por tanto los profesionales involucrados en el diseño y manufactura de productos, deben de tener una visión mas amplia para optimar los procesos de producción y tener impacto dentro de este mercado en constante cambio.

En la actualidad las compañías competitivas generan nuevos productos partiendo de información ya disponible, comenzar el proceso de diseño desde cero no es muy común debido a que se invierte más tiempo en el desarrollo. Estas empresas utilizan su experiencia en los productos para innovarlos o bien aprovechar este conocimiento para crear productos diferenciados. La ventaja de esto es que pueden producir nuevos modelos de manera más rápida y así competir en un mercado donde el ciclo de vida de los productos cada vez es más reducido.

De lo anterior, se desprende que contar con la información técnica de los productos es un aspecto fundamental para que las empresas se mantengan dentro del mercado, y las que no cuenten con los datos técnicos tendrán problemas para responder a los cambios marcados en esta nueva era industrial. Por otro lado muchas compañías no se han preocupado por tener los planos y especificaciones del producto lo cual hace más costoso innovar.

Analizar productos en existencia y extraer información de ellos de acuerdo con un objetivo particular, es la tarea de la Ingeniería Inversa (IR*). Partiendo de ésta se puede utilizar la información del producto (prototipos, muestras, manuales, especificaciones, reportes de funcionamiento, experiencia, etc.) para utilizar el proceso de diseño desde cualquiera de sus fases. Con la información obtenida, se puede lograr un producto similar que satisface los mismos requerimientos y a través de ésta desarrollar innovaciones o bien implementar nuevas tecnologías de producción.

***Nota:** De aquí en adelante el término Ingeniería Inversa será abreviado como (IR).

Para mantener un ritmo de competitividad es importante que los sistemas de producción utilizados por las empresas se mantengan operando de manera eficiente y a un bajo costo durante su ciclo de vida, ésta es una de las aplicaciones de IR.

La técnica se puede llevar a cabo en grandes y en pequeñas compañías, en las primeras es factible porque tienen el soporte económico para realizar las inversiones requeridas. Para el desarrollo de IR en las micro y pequeñas industrias se deben apoyar estas en los centros de diseño de universidades y en los patrocinados por los gobiernos estatales. Otra manera de apoyar a la micro y pequeña industria es el desarrollo de empresas de base tecnológica las cuales son patrocinadas por el gobierno.

En la industria nacional existen empresas manufactureras que producen bienes que contienen una gran variedad de componentes mecánicos, como son la maquinaria y los automóviles; los cuales están compuestos de diversos sistemas. Las compañías automotrices prácticamente ensamblan todos los subsistemas con sus componentes y estos le son suministrados por otras empresas que se dedican por lo general a producir un solo tipo de partes. Para garantizar la calidad del producto final, por ejemplo el automóvil, las empresas ejercen un control estricto de la calidad de los insumos que le suministran e inclusive han implementado programas para asegurar las especificaciones requeridas en el caso de los programas de desarrollo de proveedores.

Por otro lado las grandes empresas se están ajustando a los estándares internacionales (Normas ISO) para obtener reconocimiento a nivel mundial. Dada dicha situación la exigencia hacia sus proveedores se ha incrementado, estos deben entregar el producto con la información técnica completa.

En relación a lo mencionado anteriormente resulta conveniente crear sistemas, para el apoyo a la industria, dentro de los centros de desarrollo y de las universidades; aprovechando la capacidad instalada de algunos de estos.

De acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores se considera que la investigación de operaciones es una área que ayuda en los problemas planteados pues una de las definiciones más aceptadas indica que:

“La Investigación de operaciones es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (hombre-máquina) a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización”.

En la definición anterior resaltan las palabras organización, sistema, grupos interdisciplinarios, objetivo y metodología científica. Estos conceptos se encuentran dentro de nuestro problema en estudio. A continuación se presentan algunas

consideraciones sobre sistemas e investigación de operaciones que se identifican claramente dentro del desarrollo del presente trabajo:

- Todos los sistemas tienen componentes e interacciones entre las mismas, algunas de las interacciones pueden controlarse y otras no.
- El comportamiento de las partes o componentes tiene efectos directos e indirectos con los demás. Por lo tanto es necesario que exista un procedimiento sistemático que logre identificar las interacciones de un sistema.
- Todo sistema es una estructura que funciona. La información es el elemento que convierte a una estructura en un sistema, por tanto la información dinamiza las estructuras.
- En las estructuras existen componentes y canales de comunicación entre estas, al fluir la información las componentes interactúan de una determinada forma. La organización se puede representar como un sistema, el cuál tiene componentes, canales e información que fluye por estos.
- Dentro de la estructura de los sistemas se encuentran los recursos humanos, materiales (equipo, edificios, materia prima) y financieros. Las interacciones emanadas de los recursos se asocian al diseño, construcción y mantenimiento de máquinas y edificios; primero como entes aislados y luego como subsistemas hombre-máquina. los recursos monetarios generan interacciones de adquisición, retención y financiamiento.
- Los objetivos del sistema se refieren a la eficiencia y efectividad con que las diferentes componentes pueden controlarse y/o modificarse
- La investigación de operaciones permite encontrar las relaciones óptimas que mejor operen un sistema dado un objetivo específico.
- La información que fluye a través de los canales, comunica a las componentes. El transmisor y receptor son componentes de la estructura del sistema. La comunicación es la relación que se establece entre las diferentes componentes del sistema.
- En todo sistema, donde sus componentes se comunican y interactúan a raíz de la información que fluye por los canales apropiados, debe existir además un control. El control es un mecanismo de autoaprendizaje (autocorrección, autoadaptación) del sistema. El control permite evaluar los resultados asociados a los objetivos que se establecen y las acciones requeridas para iniciar y/o modificar los patrones de comportamiento de las diferentes componentes controlables del sistema, a medida que estos se requieran.

- Hoy en día los problemas que se presentan en las organizaciones, son multidisciplinarios. Por tanto, el análisis y solución de estos problemas requiere de grupos compuestos de diferentes especialistas. Estos grupos interdisciplinarios requieren necesariamente de una cierta coordinación y comunicación.

En general se involucran actividades que tiendan a optimar los procesos, en nuestro caso el punto central es la disminución de costos

Propósito

Investigar la teoría desarrollada sobre IR hasta la fecha, obtener una metodología de este proceso y plantear nuevas metodologías sobre IR para desarrollar la técnica en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

Metodología

Se investigó la experiencia de centros de desarrollo en IR en el mundo y se realizó una revisión de la literatura para definir los elementos metodológicos necesarios para el desarrollo de proyectos de IR. Una vez definidos los criterios se procedió a realizar un análisis del Departamento para establecer la forma en que se realizará la IR aprovechando el potencial y la capacidad instalada existente.

Problemática

En nuestro país el desarrollo de proyectos de IR en la ingeniería mecánica se efectúa de manera desorganizada, ya que no se cuenta con una metodología que permita realizar la práctica eficientemente, tal es el caso del Departamento de Ingeniería Mecánica en donde se han desarrollado trabajos sobre IR pero sus alcances han sido limitados y a la fecha se tienen muchos problemas conceptuales. De hecho se piensa que el realizar IR solo se trata de recuperar la forma de pieza a través de la digitalización de ésta mediante una máquina de Medición por coordenadas, una computadora y un sistema de CAD. Por solo mencionar otro problema es común que se confunda a la IR con el rediseño, siendo que la IR solo trata de recuperar la información del producto, el rediseño viene después. Por otra parte debido a la concepción limitada y confusa que se tiene sobre el concepto no se aprovechan los recursos potenciales del departamento.

En resumen el problema es que no se cuenta con una metodología de IR que integre los elementos tanto materiales como humanos dentro del departamento para desarrollar proyectos de IR en apoyo a la industria.

Hipótesis

De acuerdo a los elementos necesarios tanto materiales como humanos y con base en aspectos teóricos y prácticos, es posible desarrollar proyectos de IR en forma organizada dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM

Objetivo

Definir una metodología de IR para integrar los elementos humanos y materiales del Departamento de Ingeniería Mecánica en el desarrollo proyectos de IR para apoyar a la industria nacional

Importancia del Estudio

En este estudio se sientan las bases para que dentro de las universidades y centros de desarrollo se puedan integrar células de apoyo a la industria nacional en proyectos de IR.

Dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica se han desarrollado proyectos de IR, pero estos no se han realizado bajo una metodología definida, este trabajo es importante debido a que en el se definen los métodos y la integración de elementos como grupo de trabajo y equipo de laboratorio, necesarios para desarrollar la IR más exitosamente. Por esta razón se benefician tanto académicos, estudiantes e industrias interesadas en el área .

Otro aspecto que cubre el estudio es proporcionar elementos teóricos sobre IR, ya que existen confusiones en cuanto a conceptos relacionados con la técnica. Por ejemplo en ocasiones se confunde el termino de IR con los de Reingeniería, Ingeniería del Valor o *Benchmarking*. Se presentan también términos relacionados con la técnica que ayudan a entender su relevancia

Limitaciones del Estudio

El concepto de IR es utilizado en muchas áreas y en cada una se dan interpretaciones diferentes de acuerdo a sus necesidades particulares. En la electrónica, en la computación, en la química, en la ingeniería mecánica, etc. El estudio se limita al desarrollo de un grupo de trabajo en el área de ingeniería mecánica, los métodos, grupos de trabajo y equipo necesario se definen en función de productos que son componentes de maquinaria.

La Micro y Pequeña Industria

De acuerdo al tamaño de las industrias; las consideradas grandes, cuentan con los recursos financieros suficientes para financiar grupos de desarrollo de IR, el problema se presenta básicamente en la micro y pequeña empresa en donde en general no se cuenta con los recursos técnicos y económicos necesarios. El apoyo a estas se pueda realizar en los centros de desarrollo tecnológico y en universidades que cuenten con equipo de laboratorio y profesionales en determinadas áreas. Es decir el costo del desarrollo de los datos de un determinado producto vía IR es muy alto si se trata de implementar un sistema dentro de una empresa, pero si se aprovechan los recursos de las universidades, los costos del proyecto son más accesibles.

En el gobierno, la actual administración le concede gran importancia a las pequeñas y medianas empresas, y dentro del plan nacional de desarrollo 1995-2000, se marca como tarea prioritaria la puesta en práctica de estrategias tendientes a promover y desarrollar este tipo de industrias. Además se constituyó el Consejo Nacional de la Micro, Pequeña y Mediana empresa, siendo uno de sus objetivos promover mecanismos para que las empresas reciban asesoría integral y especializada en las áreas de comercialización y mercadeo; tecnología y procesos de producción; diseño del producto y financiamiento, así como en materia de normalización y certificación.

El impulso a las inversiones y los esfuerzos que hagan más eficientes los procesos, diversifiquen la producción y promuevan el aprendizaje industrial en las micro y pequeñas empresas mexicanas, es de vital importancia, ya que generan el 40% del empleo manufacturero, el 20% del valor agregado industrial y significan el 98% de las unidades económicas industriales del país. De hecho de 1980 a 1995 la producción manufacturera creció un 36.2%. En cuanto al número de establecimientos y de empleados en el sector manufacturero, para 1993 se contaba con:

Tamaño	Cantidad	Empleados
Micro	239088	600793
Pequeño	19889	582046
Mediano	3986	496412
Grande	3070	1495204
Total	266033	3174455

La mayoría de los proyectos de IR que se desarrollan son de la industria metalmecánica, la cual cuenta con un número importante de micro y pequeñas empresas que realizan trabajos de transformación de metales para empresas, o de apoyo en la elaboración de piezas o refacciones para automóviles y maquinarias de uso común. Si bien la relación capital-producto típica de la industria es alta debido a

la tecnología requerida, la escala de producción para amortizar las inversiones no lo es. Esto permite un gran campo de acción para las micro y pequeñas empresas, que se ha ampliado con la integración observada en la cadena productiva a través de esquemas de subcontratación entre éstas y las medianas y grandes demandantes de insumos y equipos originales. Para el año de 1991, 66 de las principales exportadoras mexicanas se ubican en la industria metalmecánica y han permitido que una creciente cantidad de micro y pequeñas empresas estén participando directamente en las exportaciones mediante la producción de tanques, calderas, piezas y refacciones, maquinaria y equipo en general. En 1988 el número de establecimientos a nivel nacional en esta área era de 23318 mientras que en 1993 creció hasta 41918.

Otro de los aspectos a considerar es la cuestión de las certificaciones de calidad, ya que hoy en día las grandes empresas exigen a sus proveedores que cumplan con lo establecido en las normas internacionales.

Por ejemplo en la industria automotriz, en la dinámica actual, se percibe un aumento en la demanda de servicios de certificación; de hecho desde 1996 por acuerdo de las grandes empresas automotrices, las compañías proveedoras de este sector enfrentan restricciones pues se les exige que cumplan con la certificación internacional de calidad. En virtud de lo anterior las empresas proveedoras de la industria automotriz, podrían tener problemas para continuar con la venta de insumos a las plantas armadoras. Si estas empresas no invierten para conseguir la certificación, existe el riesgo de que puedan desaparecer debido a la escasez de recursos y a la contracción del mercado automotriz.

CAPITULO 2

INGENIERÍA INVERSA

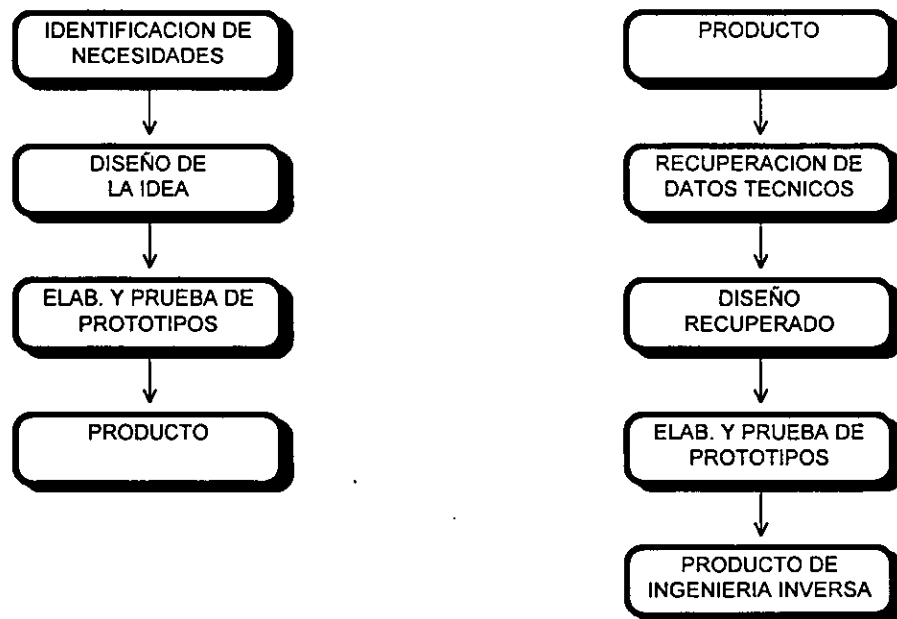
- El Concepto de Ingeniería Inversa
- Relación Con Otros Conceptos
- Experiencias en Aplicaciones de Ingeniería Inversa
- Futuro de la Ingeniería Inversa

2.1. INGENIERÍA INVERSA

La ingeniería inversa o ingeniería de reversa (IR), es un proceso en el cual se busca obtener los datos técnicos de un modelo, o producto manufacturado. Los datos técnicos se pueden extraer de prototipos, muestras, manuales, especificaciones, reportes de funcionamiento, planos de fabricación, etc. Si no se cuenta con estos datos se deberá explorar este producto para extraerlos, logrando con esto obtener la información necesaria para manufacturar la pieza.

Por lo anterior, la IR se puede utilizar para obtener información de productos existentes y desarrollar nuevos productos logrando de esta manera el perfeccionamiento o rediseño del producto. Otra manera de entender el proceso de IR es comparándolo con el proceso tradicional de diseño de un producto (*Figura 2.1*). Como se puede observar la IR parte de un producto y recupera la forma en que se diseñó, se fabrican los prototipos, se prueba y se fabrica el producto de IR.

Existen distintas definiciones sobre el concepto de IR, pero todas convergen en la recuperación del diseño de un modelo o producto (recuperación de información técnica y la utilización de esta información para distintos propósitos. El término IR es utilizado en muchas áreas y en cada una se interpreta de manera diferente de acuerdo a sus necesidades particulares. En la electrónica, en la computación, en la química; como ya se señaló el enfoque de este trabajo es hacia la Ingeniería Mecánica



Proceso de Diseño Tradicional

Proceso de Ingeniería Inversa

Figura. 2.1. Comparación entre el Proceso de Diseño Tradicional y el de Ingeniería Inversa

Tipos de Proyectos de Ingeniería Inversa

Existen tres diferentes tipos de proyectos, la clasificación se da con base a la cantidad de información disponible sobre el producto:

- 1) Verificación del producto. En este tipo de proyecto se resuelven dudas acerca del producto, se verifican los datos disponibles en papel con los datos físicos. Normalmente se utiliza una sola pieza en la comparación.
- 2) Mejora de los datos. Dentro de este tipo se localizan productos con los que solamente se cuenta con algunos datos. Dependiendo de la cantidad de datos disponibles se recomienda se analicen entre 3 y 5 piezas.
- 3) Generación de los datos. En este caso no se cuenta con ningún tipo de dato, hay que generarlos todos. Se recomiendan alrededor de 5 a 10 piezas para el proceso.

Ventajas de la Utilización de la Ingeniería Inversa

- Incrementa la habilidad para mantener la capacidad de producción de una empresa con productos competitivos, debido a la velocidad con que se generan los datos técnicos.
- Disminución de costos de rediseño.
- Estructuración de la información para el desarrollo del producto, repercute en mejorar la calidad del diseño.

Aplicaciones de Ingeniería Inversa

En general la IR es útil en casos como:

- Actualización de la documentación debido a una modificación del producto.
- Perfeccionamiento de un producto.
- Fabricación de un producto similar al de otra compañía (siempre y cuando no se incurra en problemas legales).
- Generación de la documentación técnica necesaria para lograr que un sistema se mantenga funcionando eficientemente durante su vida útil.

- Obtención de la información técnica completa de un sistema de acuerdo a normas internacionales de calidad.
- Disminución del costo del ciclo de vida de un sistema en operación mediante la sustitución de algunas componentes desarrolladas a partir de IR.

El modelado en CAD y los sistemas CAE y CAM son empleados en diversas aplicaciones:

- Obtención de nuevo diseño; para optimar y perfeccionar el modelo en CAE y manufacturarlo en CAM, esto es para compañías que desean producir partiendo de un diseño ya existente. Para poder realizar análisis de resistencia, deformaciones, efectos de las vibraciones, gradientes de temperatura, etc; en una pieza, tipo prototipo, o *master*, empleando sistemas CAE, es necesario previamente obtener el modelo de dicha pieza en CAD para aplicar el método de elementos finitos.
- Fabricación de moldes. A partir de la digitalización de la pieza que se ha de obtener con el molde, se generan las superficies en un sistema CAD a partir de las cuáles se diseña el molde completo en dicho sistema, aplicando sistemas CAE si es necesario, simulando incluso el llenado del molde y determinando los correspondientes gradientes de temperatura durante el llenado. Finalmente en un sistema CAM se obtienen los programas de CNC para fabricar el molde.
- Para diseño de grandes piezas utilizando CAD con la finalidad de obtener sus dimensiones y modificarlo, documentarlo o bien inspeccionarlo.
- Partes modificadas o rotas. Cuando esto sucede, se puede manufacturar un modelo en CAD para reconstruir la pieza.
- Inspección industrial. Para verificar cualquier variación en las piezas comparándolas con su modelo en CAD.

Nuevas Aplicaciones de Ingeniería Inversa

- En la Actualidad empresas como *General Motors* utilizan sofisticadas técnicas de IR como la medición de un *monoblock* a través de imágenes tomográficas y obtienen una réplica en plástico a través de estereolitografía.
- En algunas ambulancias se cuenta con *scanners* especiales para obtener la imagen de un hueso roto, mandar la señal al hospital y en éste se decide el tipo de cirugía a realizar y se comienza con la construcción de una prótesis adecuada para el enfermo.
- Las técnicas de rápida construcción de prototipos son una herramienta importante en la manufactura. Lo que se busca es tener un proceso automatizado (irinteligente) que un día produzca un artículo y que al siguiente produzca una variación de éste en la misma línea de producción.

Centros de Investigación

En la mayoría de los países industrializados las universidades realizan estudios y aplicaciones sobre IR. Universidades las de Georgia, Utah, Texas y el MIT realizan investigación de alto nivel en el área, de hecho en la armada de los EE.UU. existen normas para la utilización de la técnica.

Las investigaciones están orientadas al desarrollo de nuevos métodos de digitalización que sean más rápidos y efectivos, ya que existen problemas al captar geometrías de superficies irregulares.

Redes de Comunicación

En el ámbito del diseño del producto las redes de comunicación empiezan a jugar un papel importante ya que enlazan al fabricante de un artículo con sus distribuidores, al cliente directamente con la empresa o centros de venta; obteniendo información sobre el producto y realizando las operaciones de compra y venta más rápidamente. Un fabricante no solo debe prestar atención al cliente sino también a la competencia y debe tener la capacidad de reproducir lo más pronto posible modelos de un producto del competidor, a partir de la información que pueda adquirir por estas redes

Consideración sobre Patentes y Aspectos Legales

Un proyecto desarrollado mediante IR debe estar libre de todo tipo de problemas legales, es decir se debe de tener en consideración si el producto no comete alguna infracción o robo de aspectos como patentes, marcas registradas e información restringida. Por dicha razón la IR no siempre se puede llevar a efecto, como es el caso de una componente patentada. Los proyectos que se pueden realizar son aquellos en donde el producto no está patentado o en sistemas parcialmente patentados. Debe quedar claro que en el planteamiento de IR se debe evitar cualquier inconveniente de tipo legal.

2.2 RELACIÓN CON OTROS CONCEPTOS

A menudo se confunde el término de IR con el de Ingeniería del valor o con el de Reingeniería. Lo que hay que tener claro es que la IR tiene por objeto recuperar la información técnica del producto para manufacturarlo sin llevar a cabo modificaciones en el diseño, mientras que la Reingeniería recupera la funcionalidad de un producto para rediseñarlo y de esta manera mejorar el diseño y la manufactura. Por otro lado en la Ingeniería del Valor también se recupera la funcionalidad, pero su objetivo fundamental es el de proporcionar un nuevo producto que minimice el costo manteniendo la función y no degradando la calidad de este.

En lo referente a la relación con la Ingeniería Concurrente, esta básicamente se da en términos de que la IR proporciona ayuda para facilitar la comunicación entre el diseño y manufactura.

La IR inicia el proceso de rediseño debido a que el producto es observado, desensamblado, analizado, probado, experimentado, y documentado en términos de su funcionalidad, forma, principios físicos, capacidad de producción y de su facilidad de ensamble.

La relación de la IR con el *Benchmarking* se establece cuando se compara la información técnica de la compañía con la de los fabricantes más importantes del producto de interés.

En general la IR sirve de apoyo a las técnicas descritas, y eso hace resaltar más su importancia.

2.3 EXPERIENCIAS EN APLICACIONES DE INGENIERÍA INVERSA

A continuación se presentan algunas experiencias en proyectos y programas de IR desarrollados en los EE.UU:

A. A principios de 1985 la Unidad de Regulación Federal para Adquisiciones de los Estados Unidos lanzo un programa de IR en donde se consideraban básicamente tres factores.

- 1) Procedimiento de análisis preliminar
- 2) Recursos disponibles
- 3) Retorno de la Inversión

En el transcurso de 5 años se obtuvieron los siguientes resultados:

- Alrededor de 2000 candidatos fueron analizados
- Aproximadamente 2000 partes pasaron el análisis y fueron evaluadas
- Se realizaron cerca de 150 proyectos
- La tasa de retorno conjunta fue de 23.8:1

B. Paquete de tubos (para intercambiadores de calor). Este es un típico proyecto de ingeniería mecánica. La parte original costó \$2922 dlls, la de IR costó \$2500 dlls, representando un 14% de reducción del costo. El proyecto completo, incluyendo los gastos para construir pruebas hidrostáticas y prototipos tuvo un costo de \$6556 dlls. El valor de salvamento del ciclo de vida fue de \$2750 dlls lo que representa un retorno de la inversión de 7:1

C. Un equipo para ensamble de circuitos tenía un costo de \$625 dlls mientras que el costo de IR fue de \$450 dlls representando una reducción el costo unitario de 28%. El valor de salvamento fue de \$50000 dlls al paso de 14 años.

D. La naval de EE.UU brindó apoyo al Departamento de energía . Llevó a cabo un programa de IR. Proceso a 150 candidatos y obtuvo una tasa de retorno de alrededor de 25:1 En algunos proyectos se tuvieron tasas de retorno de más de 300:1.

- E. Una cubierta para un resistor variable tenía un costo de \$141 dls, mientras que el costo de IR se redujo a \$60 dls, es decir un 57%. El costo del proyecto fue de \$8998 dls con un valor de salvamento de \$88218 dls lo que representa un retorno de la inversión de 8.8:1

- F. El pedestal de un binocular tenía un costo unitario de \$910 dls, mientras que el costo de IR fue de \$500 dls, es decir una reducción de 45%, el proyecto entero fue de \$42328 dls. El salvamento del ciclo de vida fue de \$252,560 dls lo que da un retorno de la inversión de 4:1.

2.4 FUTURO DE LA INGENIERÍA INVERSA

En el futuro la IR deberá tener la capacidad de generar mas rápidamente los datos técnicos, para poder responder a las necesidades cada vez mayores del rediseño de los productos. Esto se logrará desarrollando lo siguiente:

- Una mejor colaboración de los grupos de desarrollo.
- Los participantes del proyecto deberán tener conocimientos sobre todas las técnicas utilizadas, es decir una visión más generalista, pues cuando se tiene un conocimiento general de cada una de las especialidades involucradas la tarea individual se puede llevar a cabo mas eficientemente.
- Utilización de la tecnología de la información, que permitirá una mejor comunicación entre los participantes, ya que se puede lograr un mayor flujo de información dentro del sistema. La información debe estar disponible para todos los involucrados, teniendo al líder del proyecto como solucionador de conflictos.
- Sistemas que efectúen el análisis de materiales de manera automatizada, que permitan que la información obtenida sea digitalizada.
- Realización de procesos en tiempo real.
- Reducir el tiempo de digitalizado utilizando sistemas combinados de visión artificial ó barrido tipo *scanner* con láser.
- Desarrollo de *softwares* de CAD para actividades específicas, capaces de manejar una gran cantidad de puntos, para crear y ajustar superficies a partir las nubes de puntos de manera rápida y con la mínima intervención del operador.
- Desarrollo de nuevos sistemas de fabricación rápida de prototipos.

CAPITULO 3

COMPONENTES PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA INVERSA

- **Grupo de Trabajo**
- **Equipo de Laboratorio**
- **Metodología del Proceso de Ingeniería Inversa**
- **Generación Automática de Prototipos**

3.1 GRUPO DE TRABAJO

Para llevar a cabo un proyecto de IR se necesita la colaboración de un grupo multidisciplinario de expertos en metalurgia, materiales, manufactura, diseño, etc. Esta integración es de acuerdo con el tipo de proyecto que se vaya a desarrollar.

Si se van a desarrollar varios proyectos de IR es necesario contar con un **Equipo Base** pues esto permite formar un grupo experimentado en esta tarea. Este grupo estará formado por:

- 1 líder de proyecto el cual debe de tener un gran conocimiento de las áreas de diseño mecánico, materiales y manufactura; tener cualidades para el manejo e integración del grupo de trabajo; y controlar la información que se genere en cada fase.
- 1 persona para el análisis preliminar con dos asistentes que auxilien en la recolección de datos.
- 1 o 2 ingenieros de diseño para definir el proyecto y plantear la manera de llevarlo a cabo.
- Un experto en finanzas.
- Un evaluador de proyectos.
- Un encargado de computo para el procesamiento de la información y del seguimiento del proyecto.
- 1 especialista en metrología dimensional.
- 1 ó 2 especialistas en identificación de materiales.
- 1 dibujante y un analista de dibujos.
- 1 experto en procesos de manufactura.
- Personal calificado en el taller de manufactura.

Para cada proyecto en especial se deberán de incorporar los profesionales que sean necesarios pero no formaran parte del equipo base.

3.2 EQUIPO DE LABORATORIO

El equipo más importante para desarrollar IR es el de mediciones y el de identificación de materiales. Es decir se debe contar con equipo diverso para metrología dimensional como calibradores, micrómetros, etc; siendo muy conveniente tener a disposición máquinas de medición por coordenadas (MMC). Además se debe de contar por lo menos con microscopía óptica para la determinación de microestructuras. También es necesario contar con equipo de pruebas mecánicas como tracción, compresión, impacto, etc; y para la realización de pruebas no destructivas.

Los modernos equipos de CAD-CAM proporcionan muchas ventajas pues se puede automatizar ciertas partes del método de IR. Para esto es recomendable contar con máquinas de CNC, paquetería y computadoras con alta capacidad para el manejo de imágenes.

Para el seguimiento del proyecto es necesario tener equipo de computo para la administración de la base de datos.

3.3 METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA

La metodología propuesta es para el caso más general en donde se pretende obtener la información técnica de las componentes de una máquina con el fin de lograr disminuir el costo del ciclo de vida. Es importante señalar que todos los casos de aplicación se pueden desarrollar a partir de este método, haciendo cambios sencillos en cada una de las fases. El realizar IR de una componente se le considera como un **Proyecto** y el de un sistema con "n" subsistemas o componentes un **Programa**.

1) MÉTODO PARA UN PROYECTO DE INGENIERÍA INVERSA

La metodología que se presenta es para el análisis de una componente, tomando en cuenta que de acuerdo con la complejidad del sistema los subsistemas pueden ser considerados como componentes.

Para llevar a cabo de manera exitosa la IR de una componente se plantean cinco fases: (Figura 3.1)

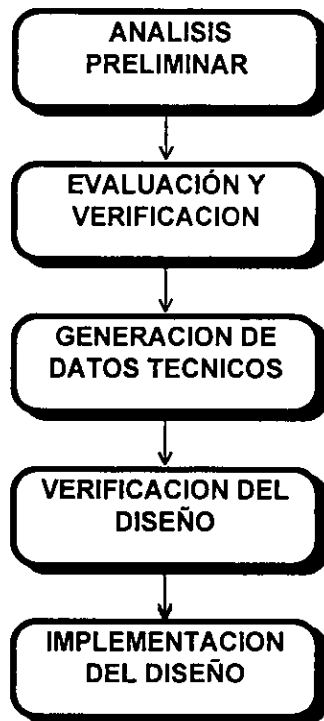


Figura 3.1 Fases de la Ingeniería Inversa

El **Análisis Preliminar** consiste en la recopilación y evaluación de la información disponible sobre la componente, para definir, con base en análisis logísticos y económicos, si es conveniente desarrollar la IR; si esta fase es aprobada se procede a la **Evaluación y Verificación** en donde a través de una inspección física se obtienen datos como dimensiones, tolerancias, ensambles, materiales, etc. Esta información que se obtuvo se compara con la disponible a fin de identificar y registrar las diferencias, en esta fase se vuelve a realizar un análisis económico ya que ahora se cuenta con más elementos y por lo tanto el análisis es más confiable, aquí se determina si se continúa con la IR hasta su terminación. Después se procede a la **Generación de Datos Técnicos** en donde con base en normas internacionales se desarrollan los dibujos, esquemas, listas de materiales, etc; para formar el paquete de datos técnicos, una vez que ya se cuenta con esta estructura lo que sigue es la **Verificación del Diseño** a través de la construcción y prueba de prototipos, cuando estos pasan las pruebas se continúa a la etapa de **Implementación del Diseño** donde se le agrega al paquete información adicional que se haya obtenido durante el proceso, se entregan prototipos, toda la información técnica completa y un resumen ejecutivo donde se incluye lo más relevante del desarrollo del proceso.

Fase 1. Análisis Preliminar

En esta fase se determina si es factible desarrollar la componente mediante IR. Esta evaluación se efectúa analizando la información técnica disponible. En general se recopilan todos los datos existentes sobre el producto, estos se evalúan y se extraen factores logísticos y económicos. De acuerdo a la información obtenida se decide si la componente es candidato para el proyecto. Si la evaluación es positiva se determina el número de componentes necesarios para el proceso y finalmente el líder planea la forma en que se desarrollará el proyecto en cada una de las siguientes fases (*Figura 3.2*).

Selección del Candidato

No es conveniente aplicar la IR a todas las componentes de un sistema, de todas estas solo se elegirán aquellas que tengan una alta probabilidad de éxito para no gastar tiempo ni esfuerzos.

Un **buen** candidato es aquél que presenta una serie de factores como una alta tasa de fallas, alto uso anual o que sea demasiado costoso, no debe ser demasiado complejo técnicamente pues el costo y el riesgo de la IR sería muy alto. Un **excelente** candidato presenta una serie de factores económicos y logísticos a su favor.

Se deben considerar otros factores importantes como falta de piezas para reposición, la obsolescencia, falta de soporte técnico y el registro de patentes, etc.

En general para definir si el candidato es aceptado se deben de analizar los siguientes factores:

- Económicos
- Logísticos
- Retorno de la Inversión
- Complejidad Técnica

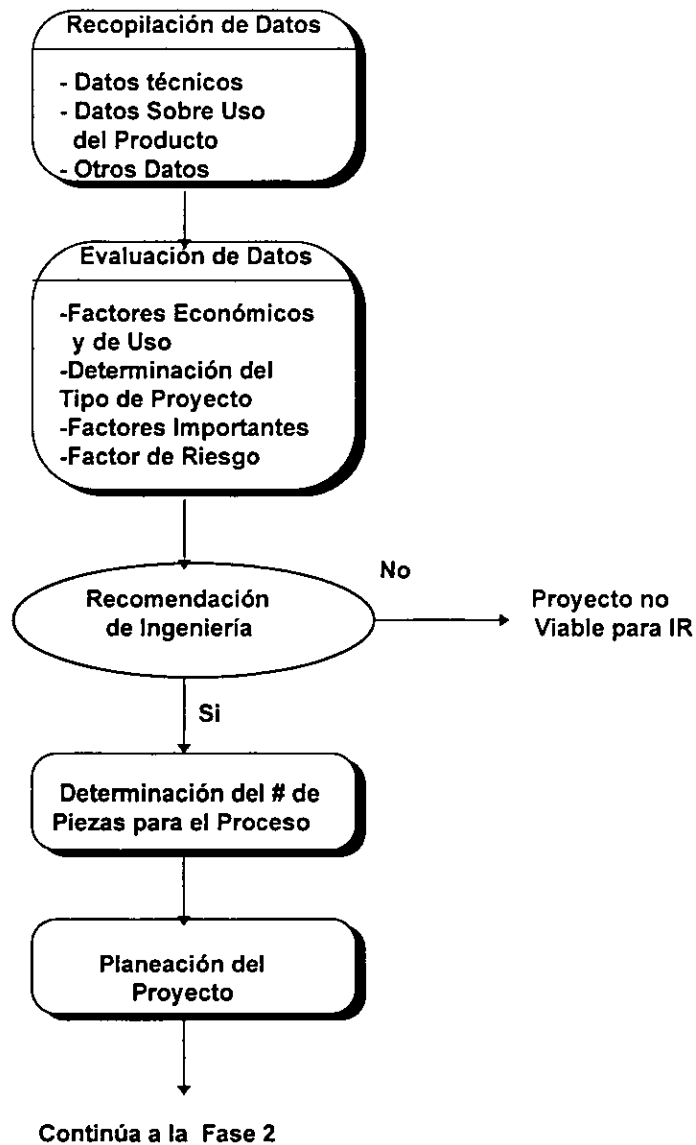


Figura 3.2 Análisis Preliminar

Recopilación de Datos. Se integran los datos disponibles sobre la componente como:

1. Dibujos de Distribución, detalle, ensamble, instalación, configuración; esquemas, diagramas, especificaciones, manuales de operación, etc
2. Datos de uso y mantenimiento. Costos unitarios, ciclo de vida , uso anual, partes en inventario o en ordenes de pedido, etc.
3. Otros datos. confiabilidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento. Se incluyen pruebas, inspecciones, reparaciones, fallas comunes, datos sobre calibración, procedimientos de pruebas, instalación, operación, tiempo promedio de fallas, materiales, datos sobre aseguramiento de la calidad, procedimiento para la fabricación de prototipos, etc.

Evaluación de Datos. De la información recopilada se extrae información y con ésta se realizan cálculos de factibilidad técnica y económica.

Determinación del Retorno de la Inversión: Para la determinación del retorno de la inversión se consideran los siguientes factores:

- ◆ Costo unitario (CU)
- ◆ Costo unitario esperado después de IR (CUR)
- ◆ Cantidad de componentes con falla (promedio anual) (CF).
- ◆ Costo anual de componentes con falla (CA) $CA = CU * CF$
- ◆ Tiempo de vida del sistema (TV)
- ◆ Cantidad de componentes en inventario (en almacén y en ordenes de pedidos) (CI)
- ◆ Partes necesarias hasta el retiro del sistema (PN) $PN = CF * TV - CI$
- ◆ Componentes con fallas en todos los sistemas(promedio anual) (CFT)
- ◆ Tasa de Fallas (TF) $TF = CF / CFT$
- ◆ Costo del ciclo de vida (CCV) $CCV = PN * CU$
- ◆ Valor de salvamento del Ciclo de vida (SCV) $SCV = CCV * 0.75$

Costo del proyecto de IR (CIR): Este se determina con base en la complejidad técnica de la componente, la cantidad de Información disponible sobre ella y en una aproximación a los costos en que se incurrirá en cada una de las fases del proyecto (recolección y evaluación de la información, desarrollo de los dibujos, desarrollo de listas de partes, determinación de materiales, fabricación de prototipos, establecimiento de pruebas, especificaciones, gastos técnicos y de administración, etc).

◆ Retorno de la inversión (RI) $RI=(SCV-CIR)/CIR$

Es recomendable cuando menos una relación de 4:1 para evitar pérdidas en el proyecto.

Determinación del Tipo de Proyecto. Se determina en función del tipo y cantidad de los datos. hay que tener presente que el costo y el riesgo varían de acuerdo con la cantidad de información disponible.

En la *Figura. 3.3* se muestra la variación del costo y riesgo en cada uno de los tipos de proyecto de IR. Mientras menos información se tiene mayor es el costo y el riesgo del proyecto.

Factores Importantes: La obsolescencia y falta de soporte de la componente, la escasez o dificultad son factores que justifican la implementación de IR.

Determinación del Riesgo. Para hacer una estimación del riesgo se consideran los factores que se listan a continuación, estos son los que más impacto tienen en el proyecto.

Factores de riesgo (Se ponderan en una escala de 1 a 5):

Datos incompletos (Rd)

Experiencia del personal en componentes similares (Re)

Complejidad técnica de la componente (Rc)

Información disponible	Factor (Rd)
Información técnica completa	1
Faltan algunos datos técnicos	2
Información incompleta	3
Se cuenta con algunos datos técnicos	4
No existe información técnica	5

Experiencia del personal	Factor (Re)
Hay experiencia en el tipo de componente	1
Hay experiencia en varias componentes similares	2
Existe experiencia en una componente similar	3
Existe experiencia en algunos elementos de la componente	4
No existe ningún tipo de experiencia	5

Complejidad técnica	Factor (Rc)
Sin complejidad	1
Normal	2
Compleja	3
Muy compleja	4
Demasiado compleja	5

$$\text{Factor de riesgo} = (Rc+Rd+Re)/15$$

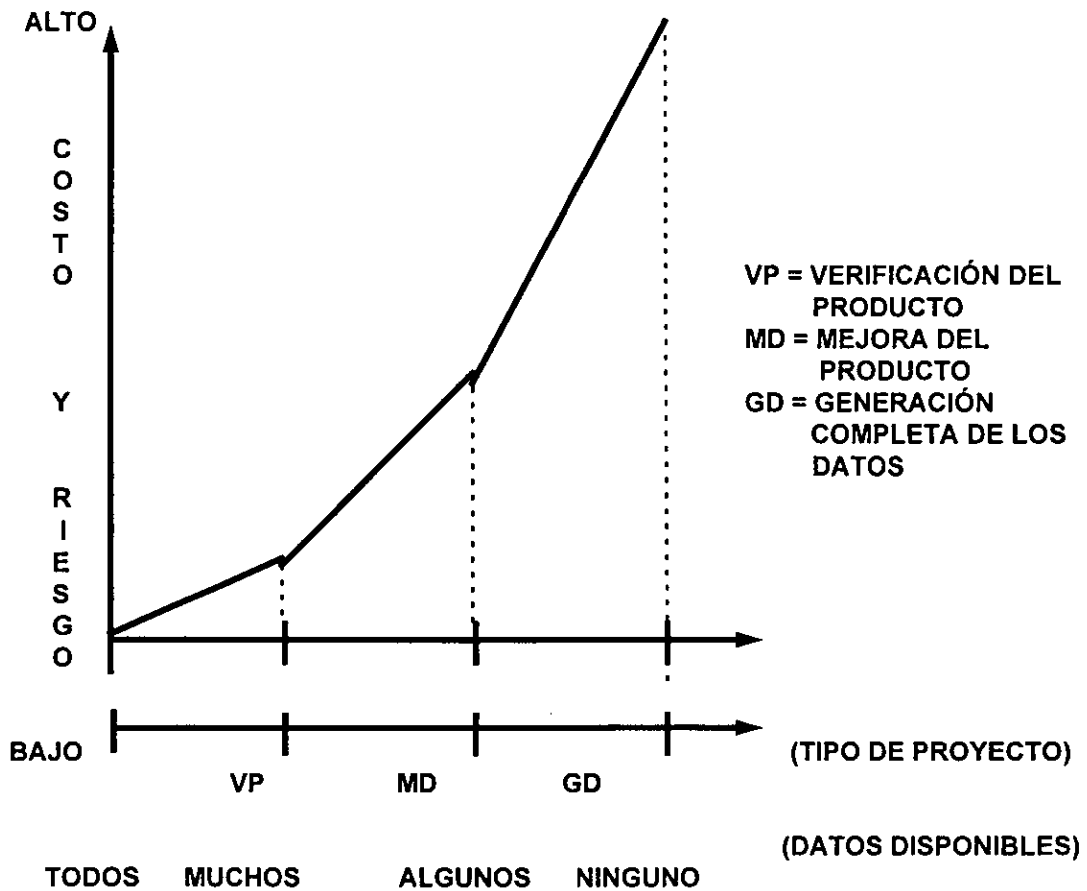


Figura 3.3 Costo y Riesgo de IR vs. Tipo de Proyecto

Recomendación de Ingeniería. Con base en los diversos factores obtenidos en esta fase (*ver Figura 3.4*) se emite la decisión de continuar con el proyecto o no. Como se ha visto ésta se basa en el análisis de factores económicos y logísticos, del retorno de la inversión, de la complejidad técnica de la pieza y del riesgo involucrado.

Determinación de la Cantidad de Piezas para el Proceso: La cantidad de piezas necesarias depende básicamente del tipo de proyecto que se este desarrollando. Es importante tener en cuenta que un numero reducido de piezas incrementa el riesgo y un número elevado incrementa el costo. Siempre hay que tener presente que hay variación entre dos productos, esto es importante para la determinación de dimensiones y tolerancias, por lo anterior el número de piezas para el proceso debe resultar del equilibrio entre los factores señalados.

Planeación del Proyecto. De acuerdo con las características de la componente el líder determina la forma en que se desarrollará el proyecto en cada una de las fases hasta su conclusión final. Establece que personal se verá involucrado dentro del proyecto, la interacción entre los participantes y define tiempos para llevarlo a cabo.

•

REPORTE DEL ANÁLISIS PRELIMINAR		
Numero de parte: _____ Componente: _____ Descripción: _____		
Datos técnicos y manuales disponibles: _____ _____ _____ _____		
<u>Factores de uso</u> TV :: _____ CI :: _____ PN :: _____ CFT :: _____ TF :: _____	<u>Factores económicos</u> CU = _____ CUR= _____ FA = _____ CCV = _____ SCV = _____ CIR = _____	Factor de Riesgo = _____
Retorno de la inversión = _____		
Determinación del tipo de proyecto: Verificación _____ Mejora _____ Generación completa _____		
Factores importantes: _____ _____ _____		
Recomendación de Ingeniería: _____ _____ _____		
Se procede a la fase 2: Si _____ No _____		

Figura 3.4 Reporte del Análisis Preliminar

Fase 2. Evaluación y Verificación

Esta es una fase del proceso en donde se desarrollan una gran cantidad de acciones y el trabajo en ella es multidisciplinario. Básicamente se extrae información del producto (físico), como dimensiones, materiales, parámetros de operación, etc. los datos físicos obtenidos se comparan con los ya existentes para detectar irregularidades y establecer la calidad de estos. Con estos análisis se puede establecer con más certidumbre, debido a que se cuenta con mayor información, el costo del proyecto y se decide si este continúa hasta su terminación. En la *Figura 3.5* se muestra el algoritmo para esta fase.

Inspección Visual. En esta parte se observa el producto en términos de su calidad, deterioro, uso, reproducibilidad. Esta inspección es similar a la que se realiza en el análisis preliminar, pero difiere de ella en el sentido que el estudio de la pieza es más profundo, por ejemplo se observan los acabados superficiales, movimiento relativo de la componentes, tolerancias, puntos de referencia para el maquinado, diferentes materiales, etc.

Desensamble de Elementos. Cuando se desensamblan los elementos se debe llevar una rigurosa lista de control en donde se anotarán las características de cada uno. Por ejemplo los valores de apriete (torque) y compresión de resortes, el orden del desensamble, etc. Es conveniente que mientras se desensambla el espécimen se filme con cámara de video este proceso.

Se debe de tener cuidado con las piezas ensambladas mediante un proceso de unión, como puede ser la soldadura o la utilización de adhesivos, pues se puede incurrir en la destrucción de los elementos, esto traerá consigo deficiencias en la toma de dimensiones.

Cuando se desensambla un producto no solamente se hace esta operación para analizar las componentes sino que se debe tomar en cuenta si es factible lograr una reducción de piezas, no afectando la funcionalidad del producto, también se debe buscar una manera de ensamblar que sea mas óptima que la actual. Otro de los logros es que se obtiene un mayor conocimiento sobre el producto.

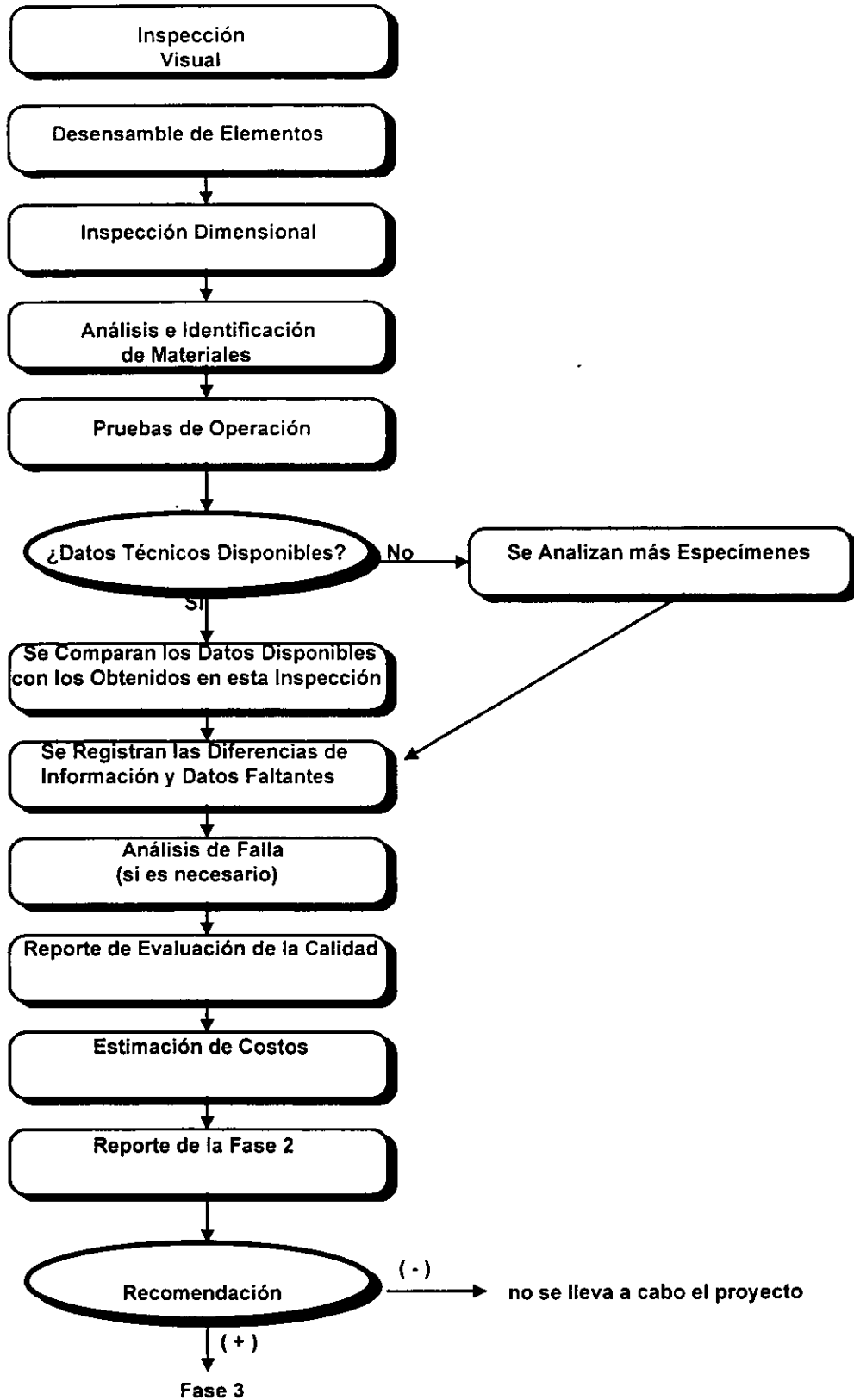


Figura 3.5 Evaluación y Verificación

Inspección Dimensional. En esta inspección se determina la configuración dimensional base del producto y esta compuesta de parámetros como tamaño, forma, tolerancias, acabados, etc. Para determinar las dimensiones se utilizan elementos de medición directa como pueden ser calibradores, micrómetros y máquinas de medición por coordenadas (MMC); también se pueden utilizar instrumentos de medición indirecta como micrómetros láser, aparatos ópticos, etc.

Un elemento importante a considerar son las tolerancias dimensionales y geométricas, pues estas en los procesos de ensamble y en el movimiento relativo entre componentes, juegan un papel fundamental. Una guía para el manejo de tolerancias se encuentra en la Norma para dimensiones y tolerancias (ASME Y14.5m-1982) Las modernas (MMC) poseen gran capacidad para el cálculo de tolerancias geométricas y dimensionales y además facilitan el proceso.

Análisis e Identificación de Materiales. Le corresponde el análisis de las componentes para identificar de que material están constituidas, esto se logra en algunos casos mediante estudios metalográficos utilizando microscopios ópticos y electrónicos de barrido, equipos de análisis químico. Si fuera necesario se llevan a cabo pruebas mecánicas sobre el material. También se utilizan métodos de ensayos no destructivos pues en muchas ocasiones no se cuenta mas que con un solo espécimen para ser analizado.

La importancia de la identificación del material radica en que se pueden localizar sustitutos que proporcionen ventajas al diseño ya sea de tipo funcional o de reducción de costos. Esto normalmente se logra, pues cada día se incorporan nuevos materiales al mercado, los que sin duda presentarán algunas ventajas respecto de los materiales originales.

Pruebas de Operación. Si existe movimiento relativo entre las componentes y si se cuenta con varios especímenes disponibles, se realizarán pruebas de operación para validar los parámetros de servicio del producto. Las inconveniencias que se observen respecto de las condiciones de operación y los materiales utilizados deberán ser registradas.

Comparación entre los Datos Técnicos Disponibles y los Datos Obtenidos. En esta parte se determinan las diferencias entre los datos disponibles del producto y los obtenidos durante el análisis preliminar. Si no existiese información sobre éste, se analizarán varias piezas para obtener un mayor confiabilidad en la información, las desviaciones que se observen también se registrarán para efectos de análisis de la calidad.

Análisis de Falla. No todos los proyectos de IR requerirán este análisis, solo se aplica cuando la componente en estudio presenta algún tipo de falla. En ocasiones durante las pruebas llevadas a cabo en el proceso las piezas presentan fallas, por lo que este análisis también se debe aplicar. Es conveniente, si es que se cuenta con un número adecuado de especímenes, llevar a cabo una evaluación de las componentes en buen estado infiriendo las posibles fallas que se puedan presentar.

Reporte de Evaluación de la Calidad (REC). Es necesario construir un reporte de la calidad de las componentes analizadas, éste debe construirse tomando en cuenta la información que se genere al plantear las siguientes preguntas:

- ¿La componente presenta una adecuada construcción?
- ¿Las datos obtenidos de la inspección coinciden con los datos ya disponibles?
¿Como se detallan estos?
- ¿Existen elementos redundantes?
- ¿Existen tolerancias en la pieza que requieran especial atención por una relación crítica de ensamble dentro del sistema?
- ¿Lleva a cabo su función correctamente?
- ¿Podría comprarse la pieza para esta aplicación ó deberá fabricarse?

En la *Figura 3.6* se muestra una forma para el reporte de evaluación de la calidad.

Costo del Proyecto de IR (CIR). Básicamente se determina considerando los costos involucrados en:

- ◆ Recolección y evaluación de la información
- ◆ Desarrollo de los dibujos
- ◆ Desarrollo de la lista de partes
- ◆ Determinación de materiales
- ◆ Fabricación de prototipos
- ◆ Establecimiento de pruebas y especificaciones
- ◆ Posible daño de partes
- ◆ Gastos de investigación y desarrollo
- ◆ Gastos de administración

Con esto se calcula el retorno de la inversión.

$$\text{Retorno de la inversión} = (\text{SCV}-\text{CIR})/\text{CIR}$$

REPORTE DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD	
1. Número de parte: _____ Componente: _____ Identificación: _____	
2. Datos disponibles	
Dibujos disponibles _____	
Manual de datos técnicos _____	
Especificaciones de funcionamiento _____	
Lista de datos faltantes _____	
Lista de diferencia entre los datos _____	
3. Analisis de falla _____	
4. Determinación del tipo de proyecto _____	
5. Evaluación global de la calidad _____	
6. Recomendaciones _____	

Figura 3.6 Reporte de Evaluación de la Calidad

Costo de Producción. Se recomienda hacer tres estimaciones de acuerdo con el tamaño de lote:

Lote pequeño (1 a 10 piezas)

Lote para una año (Igual a CF)

Lote económico (producción que minimiza el costo)

Reporte de la Fase 2. En este reporte se deben tomar en cuenta los aspectos más importantes del (REC) y además estimar los costos tanto del producto en cuestión como el del proyecto de IR. Se debe hacer una estimación del riesgo y con base en estos aspectos señalados, se procede a dar una recomendación global sobre el proyecto. (*Ver Figura 3.7*)

Recomendación. Con base en la información generada se decidirá si el proyecto continua, esto se logra tomando en cuenta los factores técnicos y económicos. Si esta fase es aprobada se continuará hasta la conclusión del proyecto.

REPORTE DE EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN														
1. Número de parte: _____ Componente: _____ Identificación: _____														
2. Datos disponibles Lista de diferencias: _____ _____ _____ Tipo de proyecto: _____ _____ Evaluación de la calidad del proyecto: _____ _____ _____														
3. Costos de producción Costo unitario \$ Costo unitario esperado \$ Estimación del costo de producción por tamaño de lote: <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Tamaño de Lote</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Costo Unitario</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lote pequeño (1 a 10 piezas)</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Lote para un año (CF)</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Lote económico (producción que minimiza el costo)</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table>				Tamaño de Lote	Costo Unitario	Lote pequeño (1 a 10 piezas)	_____	_____	Lote para un año (CF)	_____	_____	Lote económico (producción que minimiza el costo)	_____	_____
	Tamaño de Lote	Costo Unitario												
Lote pequeño (1 a 10 piezas)	_____	_____												
Lote para un año (CF)	_____	_____												
Lote económico (producción que minimiza el costo)	_____	_____												
4. Estimación del costo del proyecto de IR \$ Total _____														
5. Estimación del riesgo: _____ _____ _____														
6. Recomendación global: _____ _____ _____ _____														

Figura 3.7 Reporte de Evaluación y Verificación

Fase 3. Generación de Datos Técnicos

En esta fase se generan los datos faltantes de la etapa anterior para obtener un **Conjunto de Datos Técnicos Preliminares (CDP)**, a este conjunto se le agregan especificaciones de funcionamiento, requerimientos de aseguramiento de la calidad, criterios de prueba y se tiene con esto un **Paquete de Datos Técnicos Preliminar (PDF)**. Por último se lleva a efecto una revisión más detallada, se hacen las correcciones necesarias y se obtiene el **Paquete de Datos Técnicos (PDT)** con el cual se procede a la siguiente fase (*ver Figura 3.8*). Es importante señalar que se debe estandarizar la información, para que esta pueda ser transmitida e interpretada en cualquier lugar.

Los datos técnicos generados en esta fase incluyen dimensiones, materiales, recubrimientos, acabados, interfaces, tolerancias, especificaciones de funcionamiento y operación, y requerimientos de aseguramiento de la calidad. Estos datos que definen la configuración del diseño y los procedimientos requeridos para asegurar el adecuado funcionamiento del sistema, se encuentran en los dibujos de ingeniería y listas de partes asociadas.

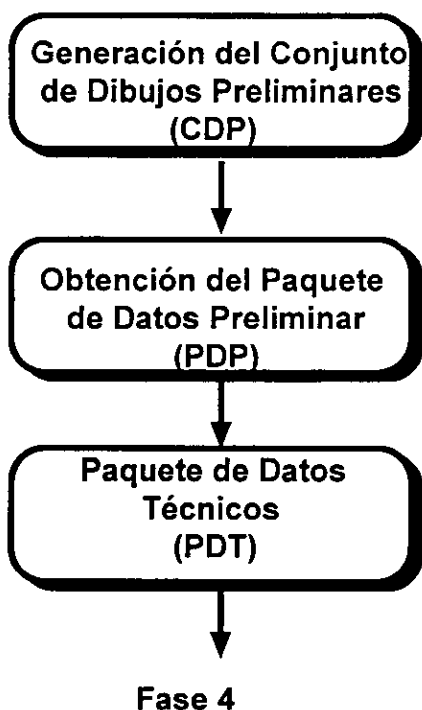


Figura 3.8 Generación de Datos Técnicos

Paquete de Datos Técnicos. Proporciona una descripción técnica de un sistema para el soporte técnico y logístico, facilitando su adquisición y su capacidad de producción. Esta descripción define la configuración del diseño y procedimientos para el adecuado funcionamiento del sistema. Este paquete consiste de los dibujos de ingeniería y listas de partes incluyendo criterios de funcionamiento, especificaciones de prueba, normas aplicadas, aseguramiento de la calidad, ensayos no destructivos, detalles de empaque, etc. A continuación se presenta una lista de elementos del paquete de datos técnicos estandarizado por la defensa estadounidense, que tiene aplicación en la industria norteamericana.

Especificación general para paquetes de datos técnicos. (Especificación militar U.S. MIL-T31000).

1. Dibujos de diseño conceptual y listas asociadas
2. Dibujos del diseño y listas asociadas
3. Dibujos del producto y listas asociadas
4. Dibujos comerciales y listas asociadas
5. Dibujos de equipo de inspección especial
6. Instrucciones de operación
7. Procedimientos de calibración
9. Dibujos de montajes especiales
10. Especificaciones
11. Preservación, desempaque, empaque, marcado para identificación
12. Lista de planificación de la ingeniería de calidad
13. Software y su documentación
14. Documentos de requerimientos de prueba.

Los puntos referentes al control y manejo de los datos técnicos del producto son:

1. Firmas de aprobación de los dibujos
2. Reporte de asignación de números de dibujos
3. Descripción del proceso de manufactura
4. Programa de control de calidad del paquete de datos técnicos
5. Reporte de validación de datos técnicos.

Desarrollo de los Dibujos de Ingeniería. La parte más importante del paquete de datos técnicos es el desarrollo de dibujos de ingeniería y listas asociadas, de acuerdo con las normas de ASME que se presentan en el *Cuadro 3.1*.

NORMA (ASME)	DESCRIPCIÓN
Y.14 24	Tipos y Aplicaciones de Dibujos de ingeniería (equivale a ISO /TC10/SC1)
Y.14 34	Listas de Partes, Datos, Indexadas (equivale a ISO /TC10/SC5)
Y.14 26	Representación Digital para la Comunicación de Datos del Producto
Y.14.5	Dimensiones y Tolerancias

Cuadro 3.1 Normas ASME Referentes a Dibujos del Producto

Los **Tipos de Dibujos de Ingeniería** que especifica la norma Y.14.24 son los siguientes

1. Dibujos de distribución
2. Dibujos de detalle
3. Dibujos de ensamble
4. Dibujos de instalación
5. Dibujos de modificación
6. Dibujos de arreglos
7. Dibujos de control
8. Dibujos de esquemas mecánicos
9. Diagramas eléctricos y electrónicos
10. Dibujos especiales.

La **Determinación de Tolerancias** juega un papel fundamental ya que el adecuado manejo de estas asegura una efectiva y económica fabricación de las componentes, estas tolerancias son dimensionales y geométricas, y se manejan bajo la norma de ASME: (Y14.5M).

Fase 4. Verificación del Diseño

En esta fase se identifican, los datos técnicos obtenidos en la etapa anterior, mediante la construcción y prueba de prototipos, se realizan todos los prototipos y pruebas que sean necesarias hasta obtener un paquete de datos técnicos confiable. En la *Figura 3.9* se muestra el desarrollo de esta etapa.

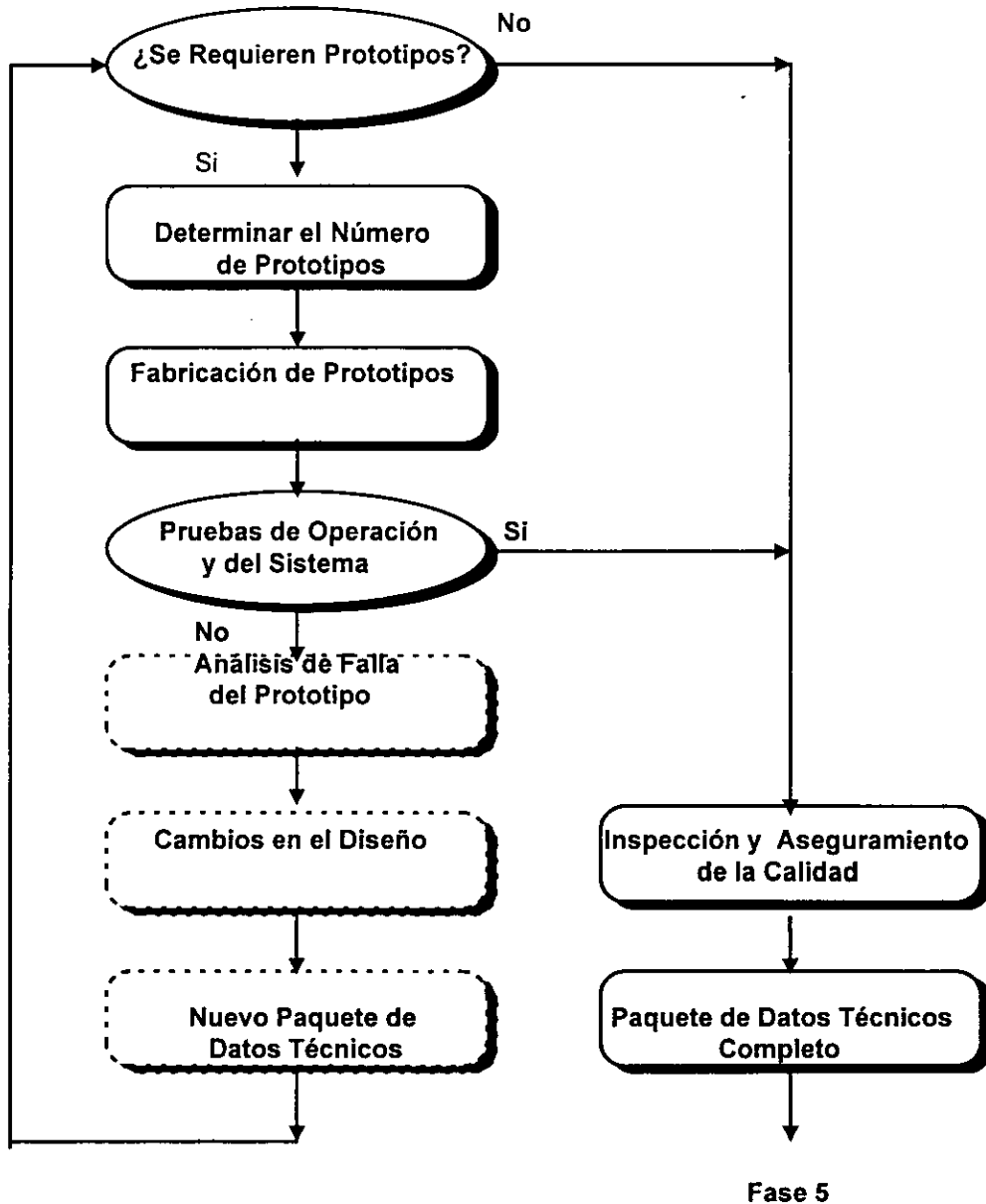


Figura 3.9 Verificación del Diseño

Determinación de Prototipos. La construcción de prototipos es muy importante pues si no se fabrican o si se fabricase una cantidad muy pequeña el riesgo de falla se incrementa, por otro lado si se fabrica una gran cantidad se incrementa el costo del proyecto (Figura 3.10).

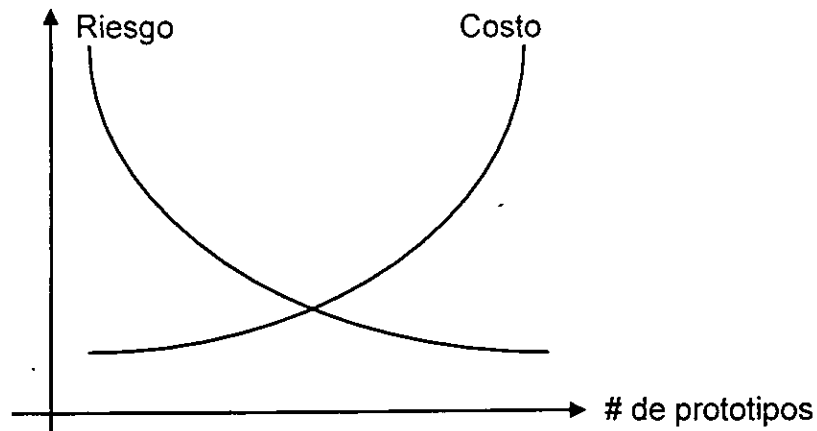


Figura 3.10 Variación del Costo y el Riesgo en Relación al Número de Prototipos

Debido a lo anterior se debe de construir una cantidad que resulte adecuada, satisfaciendo ambos problemas. Cabe señalar que el costo de fabricación y pruebas de prototipos tiene un gran impacto en el costo total del proyecto. La cantidad adecuada para partes mecánicas es de 1 a 3 piezas.

Prueba de Prototipos. Una vez que ha sido determinada la cantidad de prototipos se fabrican y se procede a efectuar las pruebas de operación y de sistema. Se deberán registrar los resultados de las pruebas para cada uno de los n prototipos y hacer observaciones. La información obtenida se debe comparar con las especificaciones de operación del modelo original. Cada pieza deberá probarse primero en forma aislada y después como componente del sistema.

Análisis de Falla del Prototipo. Si las pruebas de operación no fueron satisfechas, se procede a efectuar un análisis de falla para identificar la desviación y generar nuevamente el diseño. Con los cambios efectuados se procede nuevamente a la fabricación y prueba de prototipos.

Inspección y Aseguramiento de la Calidad. Es fundamental establecer un criterio de inspección para el aseguramiento de la calidad, su implementación es necesaria para la producción de lotes en el futuro. La información obtenida en las pruebas de prototipos y en el análisis de falla, debe tomarse en cuenta en la inspección.

Fase 5. Implementación del Diseño

En esta fase final se incorporan al paquete algunas especificaciones adicionales que se obtuvieron durante el desarrollo del proceso, se elabora un resumen ejecutivo que contiene información relevante sobre el proceso. Es la etapa donde se entrega el proyecto al solicitante incluyendo este resumen, los prototipos y todo el paquete de datos técnicos, con esta información la empresa dependiendo si tiene los recursos, decide si lleva a efecto la implementación del proyecto (ver Figura 3.11).

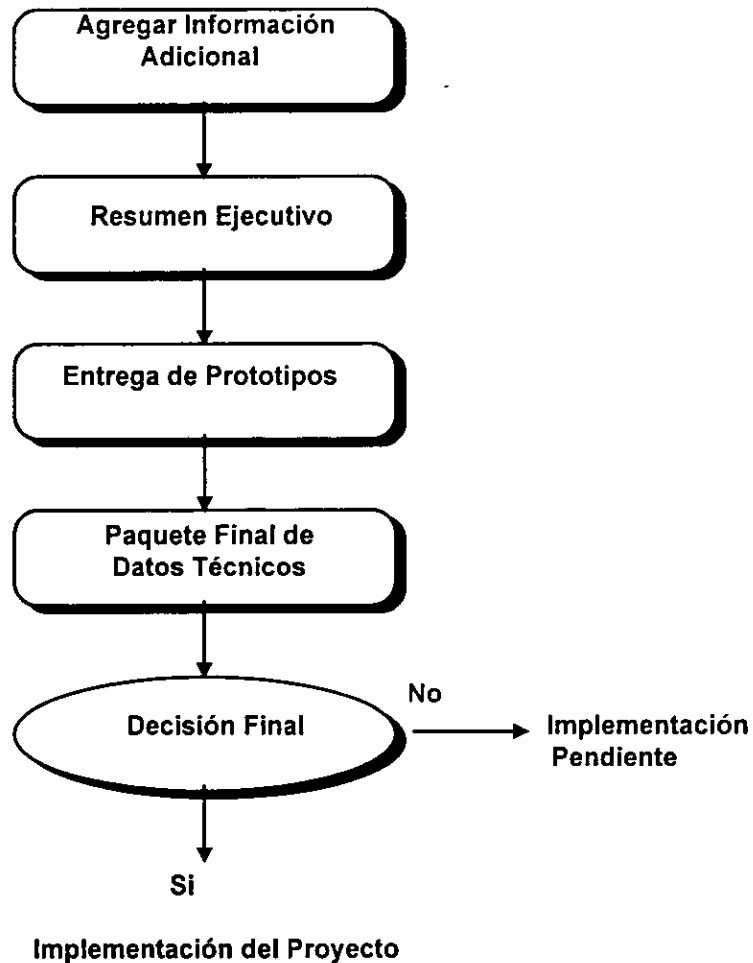


Figura 3.11 Implementación del Diseño

Agregar Información Obtenida. Durante el desarrollo del proyecto, debido a las diversas inspecciones y pruebas llevadas a efecto se logra obtener información que no se había considerado sobre el producto. Esta información adicional sobre especificaciones, empaque, desempaque, transporte, manejo, reportes de procedimientos, etc; se agrega al paquete de datos técnicos completo, de esta forma se enriquece la información de la componente y del sistema.

Resumen Ejecutivo. En este reporte desarrollado por el líder del proyecto se detalla la forma en que se llevo a cabo el proyecto desde la fase inicial hasta la final, se incluyen en el antecedentes, la razón por la que se selecciono al producto como viable para la IR, como se estableció la configuración final del producto, un resumen de como se obtuvieron los datos técnicos, resumen de pruebas realizadas, dificultades que se presentaron, y los resultados económicos del proyecto. A continuación se presenta una descripción de los elementos del resumen:

- **Antecedentes.** Incluye la razón por la cual se selecciono la componente como candidato para el proceso de IR (razón económica, obsolescencia, falta de soporte técnico, etc).
- **Configuración final.** Se incluyen los nuevos números de parte para diferenciar el nuevo producto con el original. Contiene también una relación de las normas utilizadas para el desarrollo del paquete de datos técnicos.
- **Resumen del desarrollo de los datos técnicos.** Se describe la forma en que se obtuvo la información técnica en las fases 3 y 4. Incluye cuantas componentes originales se utilizaron, las condiciones físicas de éstas, el número de prototipos producido y los problemas de diseño encontrados y superados.
- **Resumen de dificultades.** Se reportan los mayores problemas que se presentaron durante el proceso.
- **Resumen de pruebas realizadas.** Se listan todas las pruebas de funcionamiento efectuadas al sistema. Se debe registrar si las pruebas de funcionamiento de los prototipos sobrepasaron las especificaciones originales. Se reportan los equipos de prueba utilizados.
- **Reporte económico.** Se determinan los costos finales del proyecto:
 - a) Comparación entre los costos reales con los estimados en la fase 2.
 - b) Determinación del retorno de la inversión. En el inicio del proyecto se consideró una reducción del 25% en el ciclo de vida del producto, calculado a través de una disminución del 25% en el costo unitario de la componente. Evidentemente al termino del proyecto se determina el nuevo costo unitario y con éste se vuelve a calcular un nuevo valor de salvamento (SCV).

$$SCV = CCV * (\% \text{ de reducción})$$

$$\text{Retorno de la inversión} = (SCV - CIR) / CIR$$

Entrega de Prototipos y del Paquete Final de Datos Técnicos. Los prototipos se entregan junto con el paquete de datos técnicos y la información obtenida en las pruebas, la importancia de esto radica en que se puedan comparar de manera visual los prototipos con la información generada. También se recomienda entregar junto con los prototipos el modelo original para que se observen las diferencias.

Decisión Final. Finalmente la empresa decide la implementación del proyecto de acuerdo a la situación en que se encuentre. Por ejemplo puede ser que en el momento no cuente con los recursos necesarios para implantarlo o por otra razón estratégica.

2) MÉTODO PARA UN PROGRAMA DE INGENIERÍA INVERSA

Este método se utiliza cuando se va a realizar un análisis de varias o de todas las componentes de un sistema, como por ejemplo una máquina.

La máquina vista como un sistema. Una máquina se puede analizar como un sistema que recibe ciertos insumos, los procesa y se obtienen productos (Figura 3.12).



Figura 3.12 Modelo de Caja Negra de una Máquina

Al interior de este sistema se encuentran una serie de subsistemas que interactúan entre sí para que la función de la máquina se desarrolle de manera eficiente, a su vez estos contienen una serie de componentes, mismos que pueden estar constituidos de elementos (Figura 3.13).

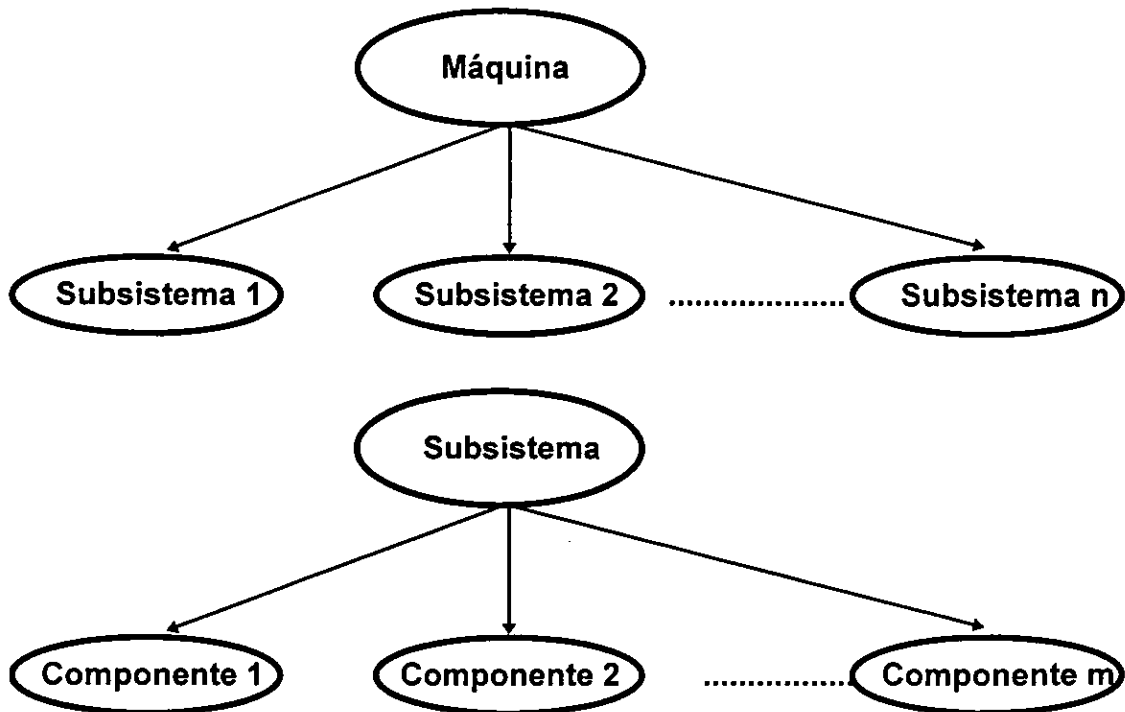


Figura 3.13 Organización de una Máquina Como un Sistema

Si se analiza el funcionamiento de la máquina de acuerdo con su ciclo de vida, se observa que existe una etapa de mantenimiento y soporte, en donde se procura que este sistema se mantenga operando adecuadamente.

Durante el ciclo de operación de la máquina se presentan fallas en los subsistemas o en sus componentes, si el deterioro de la componente implica que deba ser detenido el sistema ésta se reemplaza por una nueva.

Resulta evidente que hay variaciones en el ritmo de reemplazo de las componentes, por esto existen algunas que presentan una sustitución alta y otras cuyo ritmo es bajo. Si se considera el costo unitario se pueden identificar componentes que inciden fuertemente en el costo de mantenimiento del sistema. De acuerdo con lo explicado se establecen tres categorías (A, B, C)

En la siguiente tabla se ordenan las componentes por categoría y se calcula el costo de mantenimiento por componente

Categorías	No. de Componente	Costo unitario	Promedio de fallas (anual)	Costo de mantenimiento	%
A					
B					
C					

Las componentes de la categoría C representan un alto porcentaje del costo total de mantenimiento, por lo tanto es conveniente reducir el costo unitario de la componente y su ritmo de sustitución. Con la aplicación de IR se logra producir una componente cuyo costo unitario deberá ser mucho menor que su costo original.

A todas y cada una de las componentes que hayan resultado seleccionadas se les aplica el método definido en el inciso 1 de la página 24 desarrollando un programa de IR.

3.4 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PROTOTIPOS

Existen algunos métodos para generar los prototipos de manera más rápida y así acelerar el proceso de la IR. Una opción que se maneja hoy en día es la generación mediante estereolitografía, en donde se crea rápidamente un prototipo en plástico, partiendo del código de computadora, un inconveniente de dicha técnica es la inversión, pues el equipo tiene un costo muy alto.

A continuación se describe un procedimiento basado en la digitalización de la componente a través de la obtención de una nube de puntos que aproxima la geometría de la pieza.

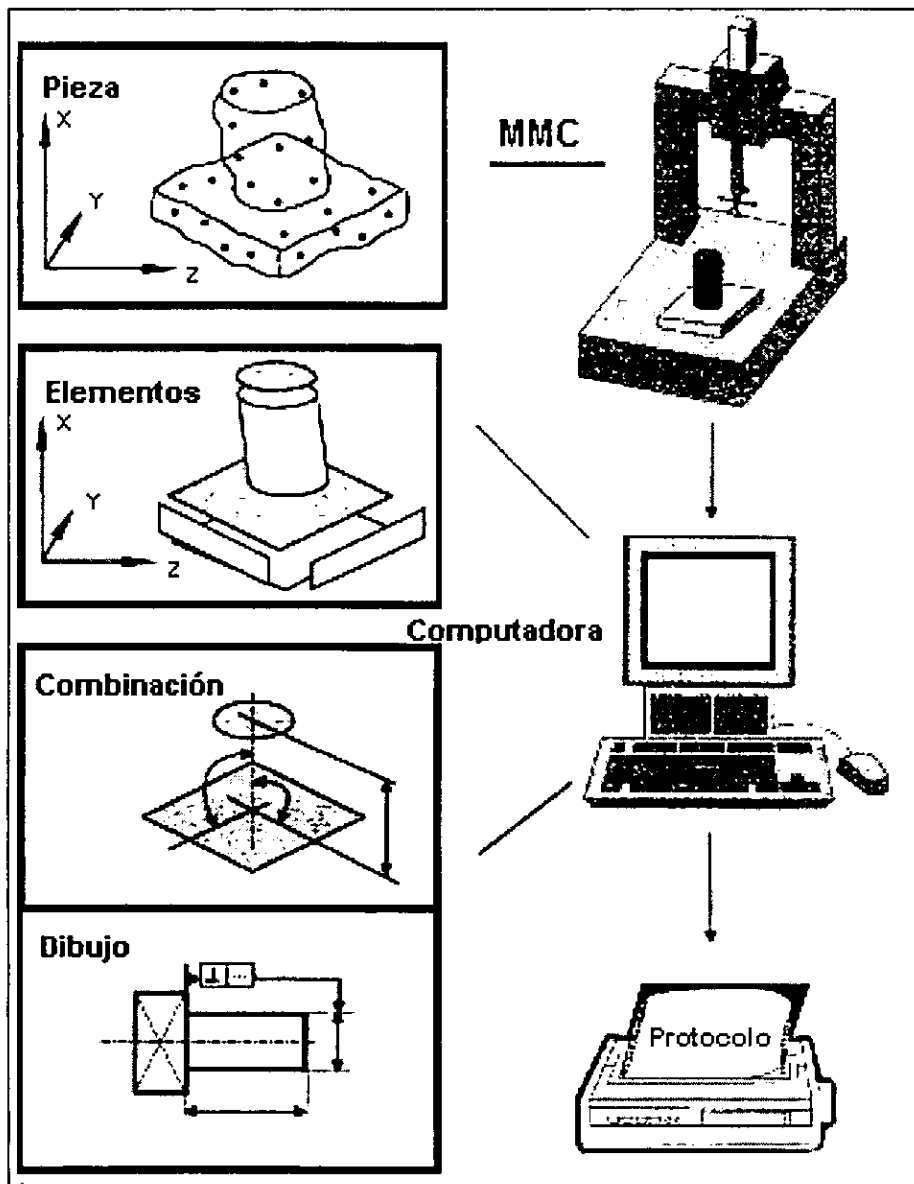


Figura 3.14 Generación de Dibujos Utilizando MMC

Obtención de la Nube de Puntos (Digitalización de los Modelos)

La nube de puntos en coordenadas (X,Y,Z) es obtenida con una MMC (ver Figura 3.14). Por lo general estas máquinas cuentan con un sistema de software que permite digitalizar en forma automática, almacenar las coordenadas de los puntos obtenidos y mediante un formato de intercambio gráfico (por ejemplo código IGES, exportar la información a un sistema de CAD).

Para captar los puntos de una pieza a digitalizarse utilizan palpadores que capturan las coordenadas.

En general existen dos tipos de palpadores:

- Palpador discreto o dinámico. Palpa puntos discretos sobre la superficie de la pieza. En la Figura 3.15 se muestra un palpador de uso común.

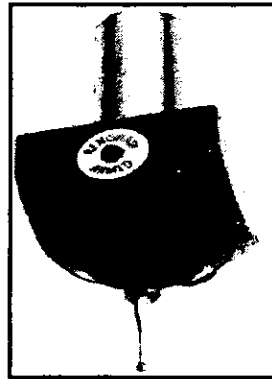


Figura 3.15 Palpador Típico

- Palpador continuo o estático. La información es palpada de manera continua dentro de las zonas que se definen a través de un barrido.

Además de los descritos, existe una variante donde se utiliza un cabezal de rayo láser que permite obtener las coordenadas de manera indirecta, es decir sin contacto físico de la pieza. Si bien este sistema tiene ventajas como la rapidez del digitalizado y el acceso a zonas donde no sería posible hacerlo con un palpador convencional, también hay que tomar en cuenta la dificultad de digitalizar superficies paralelas al rayo láser y la problemática de la superficie analizada, definida en base a sus características reflectantes de la luz.

En la actualidad existen sistemas de visión que constan de 2 cámaras para obtener una visión en estéreo y de un haz láser lineal mediante el cuál se barre la superficie, estas son máquinas que entran dentro del concepto de *scanner* 3D.

Estos métodos de no contacto tienen la gran ventaja de no necesitar de la simulación de geometrías difíciles de reproducir por contacto.

Manipulación de la Nube de Puntos. Una vez obtenida la nube existen cuatro posibilidades:

- 1) Generar de manera automática el programa de Control Numérico (CNC) fabricando directamente el producto con una herramienta de igual dimensión a la del palpador utilizado para obtener la nube de puntos. Si se requiere un desbaste previo al acabado habría que digitalizar con palpadores de medidas similares a las herramientas que serán utilizadas para realizar esta operación.
- 2) Introducir la nube de puntos en un sistema de Manufactura Asistida por Computadora (CAM) para generar los programas de CNC de las operaciones de desbaste, preacabado y acabado; necesarios para fabricar la pieza. En estos programas se le incorporan las dimensiones requeridas de la herramienta sin la necesidad de realizar diferentes digitalizados para cada una de las operaciones.
- 3) Se introduce la nube de puntos en un sistema de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para obtener superficies matemáticas que se ajusten a esta, pasando estas configuraciones a un sistema de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) con el objeto de estudiar diferentes comportamientos como deformaciones, vibraciones, gradientes térmicos, etc. También se pueden trasladar estas superficies a un sistema CAM para la generación del código de CNC.
- 4) A partir de las superficies generadas a través de CAD crear un archivo para fabricar la pieza mediante un sistema de construcción rápida de prototipos (estereolitografía).

Verificación de las Superficies. Para verificar las superficies obtenidas se tienen 2 posibilidades: comparar las superficies de la pieza original con las generadas, o comparar los puntos digitalizados y las superficies de CAD creadas.

En el primero de los casos se comparan las superficies digitalizadas inicialmente del modelo original y las del prototipo final obtenido. En el segundo caso se detectan errores de desviación entre el modelo generado con superficies a través de CAD y la información original. Este método es más usado por ser menos complejo que el primero y es bastante confiable.

CAPITULO 4

INGENIERÍA INVERSA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

- **Departamento de Ingeniería Mecánica**
- **Equipo de Laboratorio**
- **Creación del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa**
- **Metodología para el Desarrollo de Proyectos**
- **Generación Automática de Prototipos**

4.1 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM tiene experiencia de muchos años apoyando a la industria nacional, en especial a la micro, pequeña y mediana industria. Dicha interacción ha sido principalmente en las áreas de diseño, manufactura y materiales a través de proyectos, asesorías, cursos, etc. Dentro de las actividades participan tanto académicos con experiencia en el área, como tesistas, becarios, alumnos en servicio social y estudiantes en formación. En las actividades participan equipos multidisciplinarios y se forman alumnos no solo de la carrera de Ingeniería Mecánica sino también de Ing. Industrial, Ing. Electrónica e Ing. en Computación.

El desarrollo de los proyectos resulta ser muy importante ya que en este ejercicio se benefician todos los involucrados:

- Las industrias obtienen apoyo técnico de buen nivel
- Los académicos reciben de esta manera la oportunidad de aplicar sus conocimientos, logrando enriquecer su actividad docente
- Los alumnos reciben una formación que les permite enfrentar problemas antes de concluir sus estudios
- La institución se beneficia al preparar personal calificado, cumpliendo el objetivo de apoyar a la nación

La actividad principal de este departamento es la academia, que se fortalece en gran forma al desarrollar los proyectos para la industria

CENTROS DE DESARROLLO

En el departamento existen dos centros que desarrollan proyectos para la industria, donde participan académicos y estudiantes en formación:

1. Centro de Diseño y Manufactura (CDM). Este centro tiene como objetivos:

- Proporcionar servicios de apoyo a empresas y entidades industriales y de servicios, mediante el estudio e implementación de soluciones a problemas técnicos específicos de su actividad productiva, incluyendo el diseño de procesos, equipos y productos.

- Contribuir a la formación académica de los alumnos y al desarrollo profesional e intelectual de los profesores e investigadores que participan en los estudios y proyectos de investigación y desarrollo.

2. Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales (UDIATEM). Es un centro especializado en el estudio de problemas relacionados con los materiales y procesos de manufactura. Esta unidad cuenta con ingenieros mexicanos especialistas en estas áreas; con un asesor permanente *in situ* y un cuerpo de asesores a distancia, todos estos de la Universidad de Gante en Bélgica

El objetivo de la unidad es brindar apoyo y asesoría técnica para el desarrollo de la industria nacional en las áreas de manufactura y materiales.

De acuerdo con lo anterior se considera que se cuenta con la experiencia y la motivación necesaria dentro del departamento para el desarrollo de proyectos de IR.

4.2 EQUIPO DE LABORATORIO

El departamento cuenta con seis laboratorios de interés para el desarrollo de proyectos y/o programas de IR. A continuación se lista el equipo principal con el que cuentan cada uno de estos laboratorios:

1) Laboratorio de Microscopía Electrónica (Anexo A).

Se cuenta con un microscopio electrónico de barrido (Modelo XL20 de PHILLIPS), con el cual se pueden llevar a cabo estudios de:

- Análisis de falla
- Estudio y control de calidad en metales, polímeros, cerámicos y materiales compuestos
- Caracterización de materiales
- Análisis de problemas de desgaste y corrosión

2) Laboratorio de Pruebas Mecánicas (Anexo B)

Este laboratorio cuenta con equipo para evaluar propiedades mecánicas de materiales:

- Máquina servohidráulica (500 Kg. a 10 tons) para ensayos de tracción, compresión y fatiga axial
- Máquina electromecánica (500 Kg a 15 ton), computarizada para ensayos de tracción
- Máquina para pruebas de impacto
- Máquina de flexión torsión con capacidad de 300 (N) (m)
- Máquina de platos para desgaste
- Durómetros Tipo Rockwell y Brinell
- Microdurómetros tipo Vickers y Knoop
- Equipo para ensayos no destructivos

3) Laboratorio de Metalografía (Anexo C)

Se cuenta con equipo de metalografía indispensable para la preparación de probetas útiles en la realización de estudios de análisis de fallas, identificación de materiales, valoración en la calidad de procesos de manufactura, etc.

- Cortadoras de disco abrasivo
- Montadoras de probeta (en frío o en caliente)
- Desbastadoras
- Pulidoras de velocidad variable
- Ataques químicos convencionales y electrolíticos
- Laboratorio fotográfico
- Hornos para tratamientos térmicos
- Esteroscopio con lente zoom de 6.3 a 32 x

4) Laboratorio de Mediciones Mecánicas (Anexo D)

- Máquina de medición por coordenadas. Microval de Brown & Sharpe,
 - Rugosímetro Mod. 402 Mitutoyo
 - Micrómetro láser serie 544 Mitutoyo
 - Bloques patrón
 - Comparador óptico
 - Microscopios de herramientas
- Micrómetros, calibradores vernier, medidores de alturas, medidores de profundidad, medidores de radios, medidores de ángulos, reglas, compases para medición de interiores y exteriores, etc. Además se cuenta con instrumentos electrodigitales.

5) Laboratorio de Manufactura Avanzada (Anexo E)

- Equipo CNC para corte con láser LS140 de EMCO 140W, área de trabajo de 40 X 40 cms, capacidad de corte en lámina de acero de 4 mm.
- Torno industrial CNC Emcotronic 242, distancia entre puntos 35 cms., boquillas de 1/2, 3/4, 1 y 1.5 pulg.
- Centro de maquinado vertical CNC EMCO VMC 300 longitud de trabajo eje X - 70 cms, Y- 30 cms, Z - 20 cms
- Centro de maquinado vertical CNC EMCO VMC 100 longitud de trabajo eje X - 20 cms, Y- 15 cms, Z - 15 cms

6) Laboratorio de Ingeniería Mecánica Asistida por Computadora (Anexo F)

- Hardware

- Estaciones de trabajo HP Series 400 y 700
- Estaciones de trabajo HP Apollo Serie 9000
- Computadoras Pentium

- Software

- CAD

AutoCad Ver 14.0
CADKEY Ver 3.0 y Ver 7.0

- CAM

SmartCam Ver. 9.0
MasterCam Ver. 6.0
ProCam Ver 2.0

- CAE

NISA Display
IDEAS

4.3 CREACIÓN DEL GRUPO DE DESARROLLO DE INGENIERÍA INVERSA

En la *Figura 4.1* se muestra la estructura organizacional del grupo de desarrollo en IR. Básicamente se propone una Jefatura de Proyectos y unidades de diseño, manufactura, metrología, dibujo y análisis de materiales; todos estos bajo la autoridad del Jefe de Departamento, es claro que las unidades dependen del Jefe del Departamento, pero los proyectos de IR serán coordinados directamente por el Jefe de proyectos. Para auxiliar en la administración se tiene un *Staff* de apoyo denominado Administración de proyectos que depende directamente de la Jefatura de proyectos y tiene como funciones las de seguimiento, control de información y evaluación económica de los proyectos.

En la *Tabla 4.1* se muestra el personal y el equipo utilizado por las unidades que integran el grupo de desarrollo.

UNIDADES	PERSONAL	EQUIPO
Jefe de Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> • Conocimiento de las áreas de diseño mecánico, materiales y manufactura • Tener cualidades para el manejo del grupo • Ser líder. 	
Administración de Proyectos	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Evaluador de proyectos. • 1 Persona para la fase de análisis preliminar con dos asistentes para la recolección de datos. • 1 Encargado de computo para el procesamiento de la información y del seguimiento del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Computadora Pentium
Ingeniería de Diseño	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Ingenieros de diseño 	<ul style="list-style-type: none"> • Lab. de Ingeniería Mecánica Asistida por Computadora
Ingeniería de Manufactura	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Experto en procesos de manufactura. • Personal calificado en el taller de manufactura. • Experto en CNC 	<ul style="list-style-type: none"> • Lab. de Manufactura Avanzada • Taller de procesos convencionales
Análisis e Identificación de Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ó 2 Especialistas en Identificación de Materiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lab. de Metalografía • Lab. de Microscopía Electrónica • Lab. de Pruebas Mecánicas
Metrología Dimensional	<ul style="list-style-type: none"> • Especialistas en metrología dimensional 	<ul style="list-style-type: none"> • Lab. de Mediciones Mecánicas
Dibujo Asistido por Computadora	<ul style="list-style-type: none"> • Experto en sistemas CAD-CAM • Dibujantes y analistas de dibujos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lab. de Ingeniería Mecánica Asistida por Computadora

Tabla 4.1 Unidades del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa

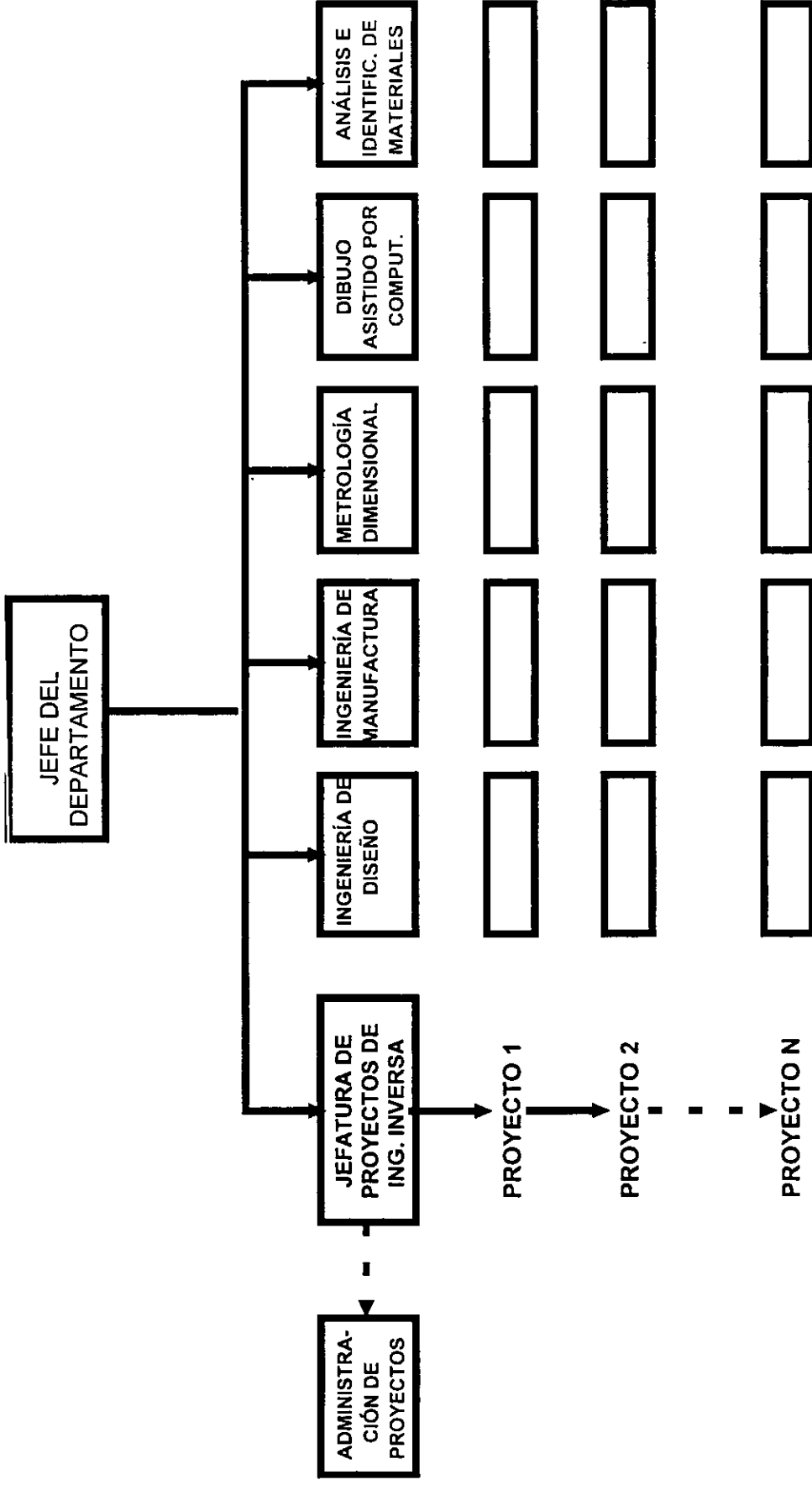


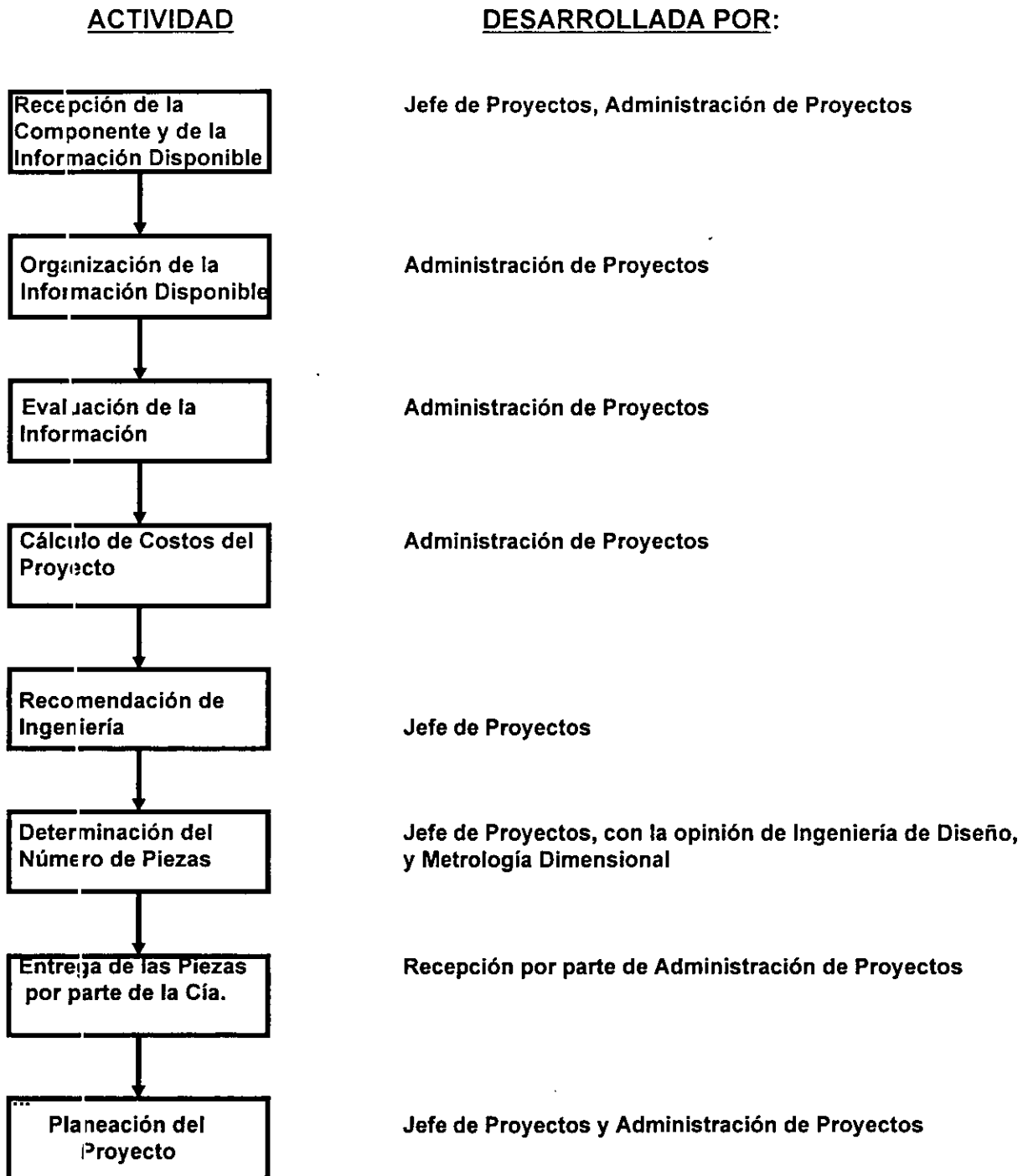
Figura 4.1 Organigrama del Grupo de Desarrollo de Ingeniería Inversa del Departamento de Ingeniería Mecánica

4.4 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS

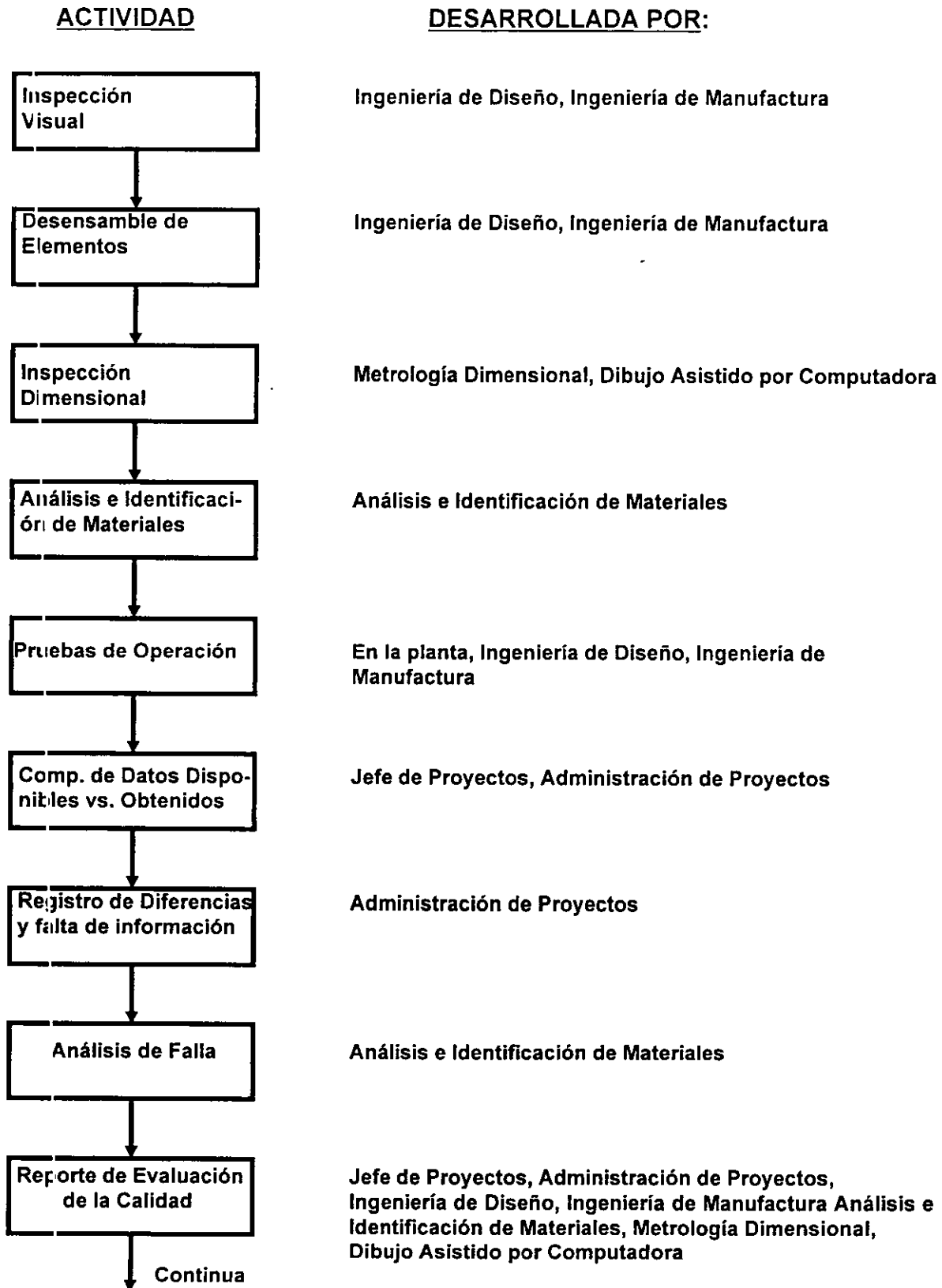
Se aplica la metodología que se definió en el capítulo 3 adaptada a las características del departamento, definidas en el numeral 4.3 de este trabajo. Cabe señalar que con el método se pueden desarrollar una gran cantidad de aplicaciones de IF. En particular este se enfoca a la sustitución de componentes de una máquina. Los demás tipos de aplicaciones como las que se señalan en la página 14 (Aplicaciones de la Ingeniería Inversa) se pueden desarrollar realizando ajustes en el método planteado.

A continuación se describe la metodología para desarrollar proyectos en el Departamento, señalando la participación de las unidades en cada una de las actividades de las fases del proyecto. Es preciso señalar que la responsabilidad en cada una de las actividades es definida por el Jefe de Proyectos de acuerdo con las características particulares del proyecto en desarrollo.

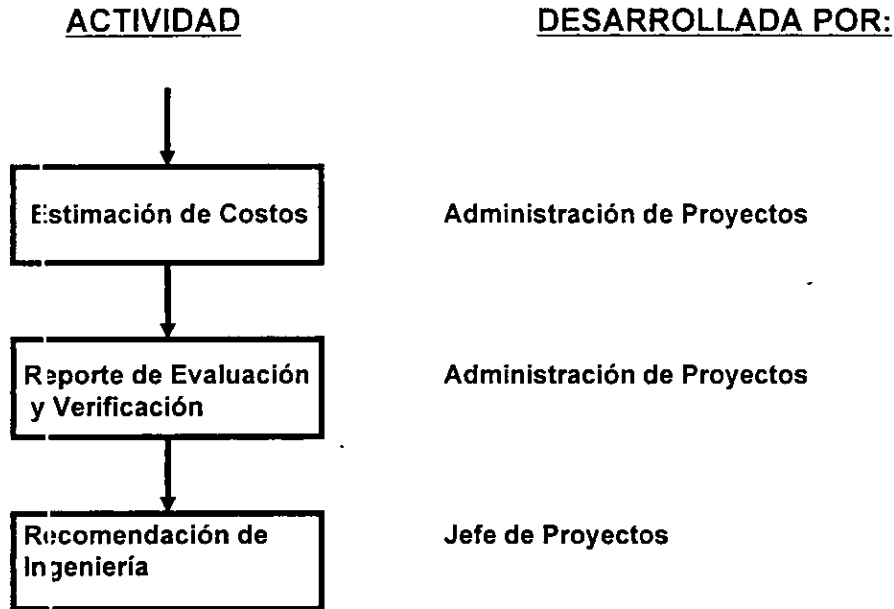
Fase 1. Análisis Preliminar



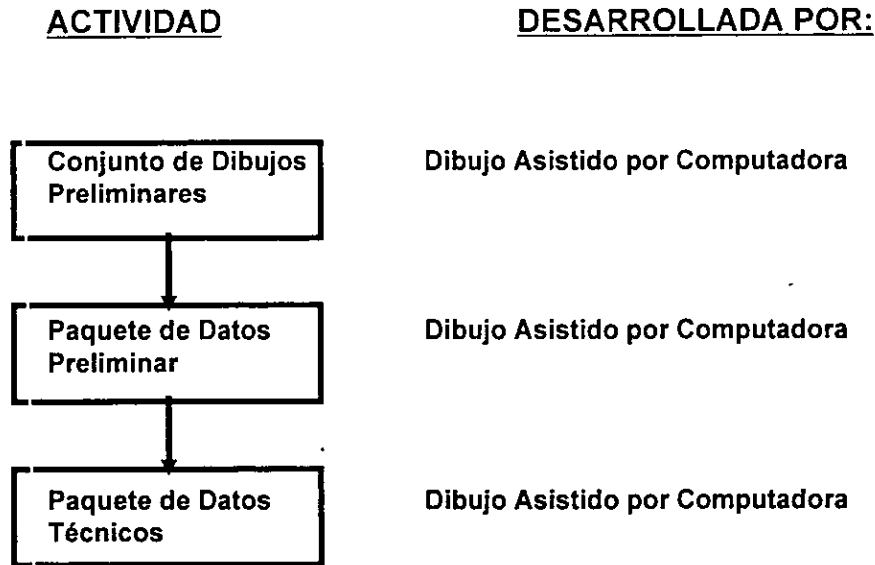
Fase 2. Evaluación y Verificación



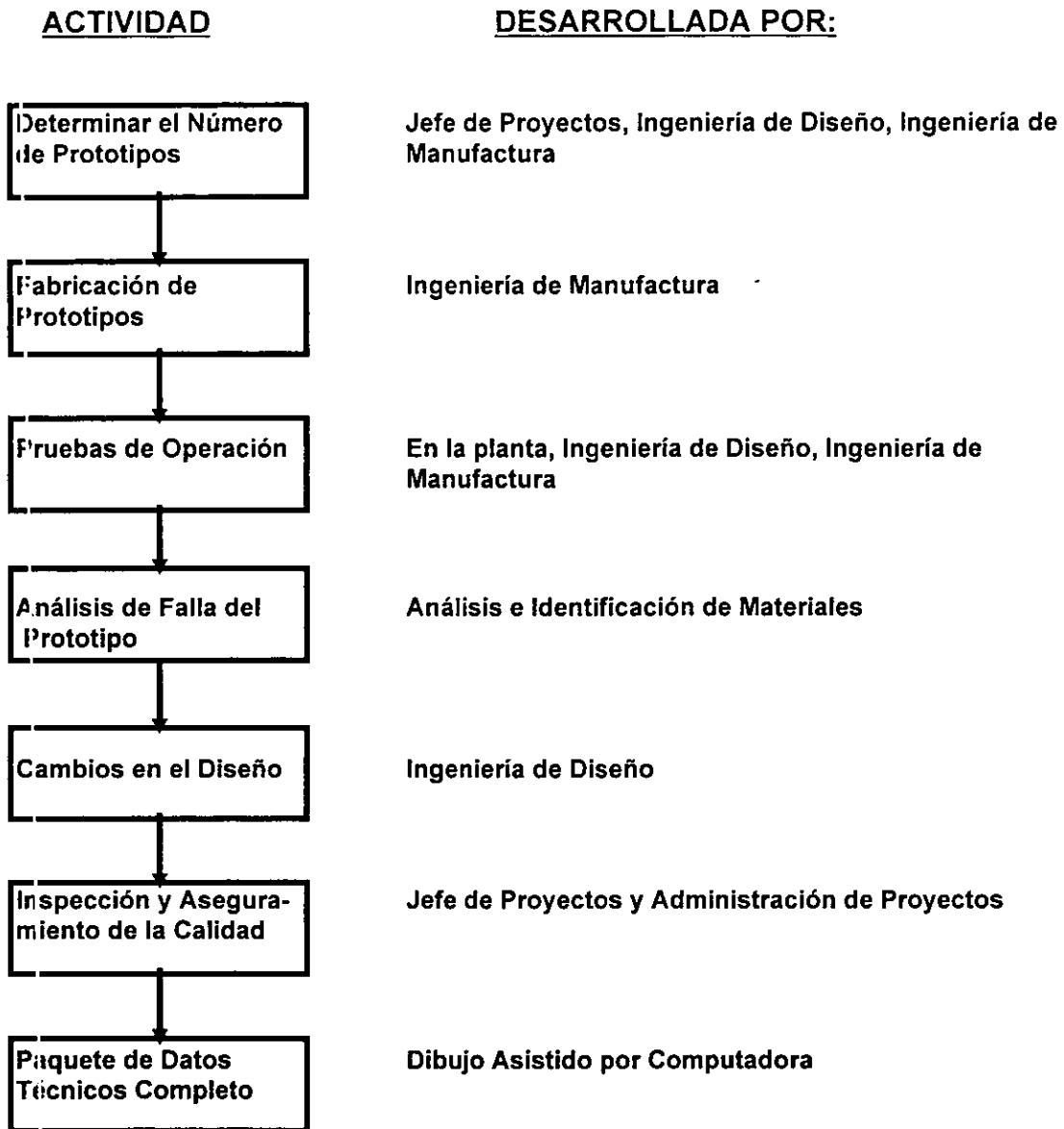
Fase 2. Evaluación y Verificación (Continuación)



Fase 3. Generación de Datos Técnicos



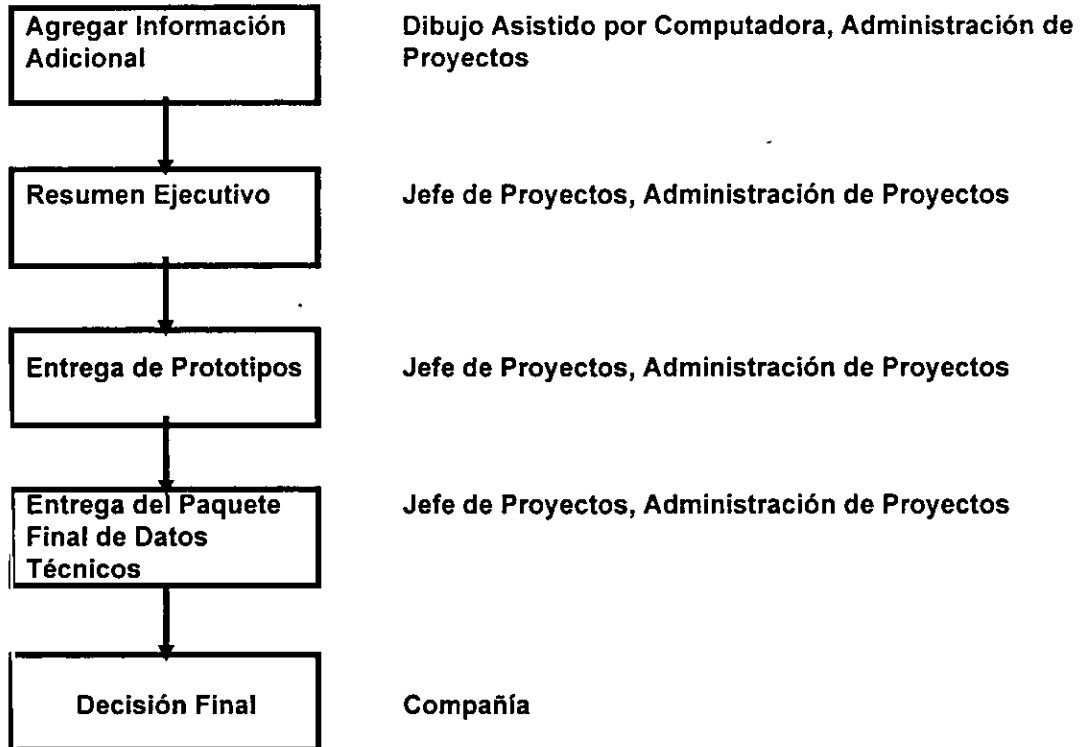
Fase 4. Verificación del Diseño



Fase 5. Implementación del Diseño

ACTIVIDAD

DESARROLLADA POR:



4.5 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE PROTOTIPOS

En el Laboratorio de Mediciones Mecánicas (Metrología Dimensional) se cuenta con el sistema *CopyCad* que proporciona inspección rápida e interactiva para una gran variedad de aplicaciones de IR en ingeniería mecánica. Este paquete consiste de tres elementos básicos (ver *Figura 4.2*):

- 1) CADKEY 3. Es un sistema de Cad que proporciona diversas posibilidades en el manejo de 3 dimensiones, incluye la generación y modificación de geometrías, además de excelentes herramientas de dibujo.
- 2) MMC *Microval* de *Brown & Sharpe*. Es un sistema de adquisición de datos en 3 dimensiones. Tiene una precisión de 0.006 mm. (0.00024 pulg.) y un volumen de trabajo de 35 cm³
- 3) Programa *Caddinspector*. Provee la integración entre *caddinspector* y la MMC. Usando este sistema la componente puede ser digitalizada y el diseño se completa utilizando CADKEY.

El software de *Caddinspector* opera dentro de CADKEY y por cuestión de consistencia usa menús y macros para la interpretación de comandos.

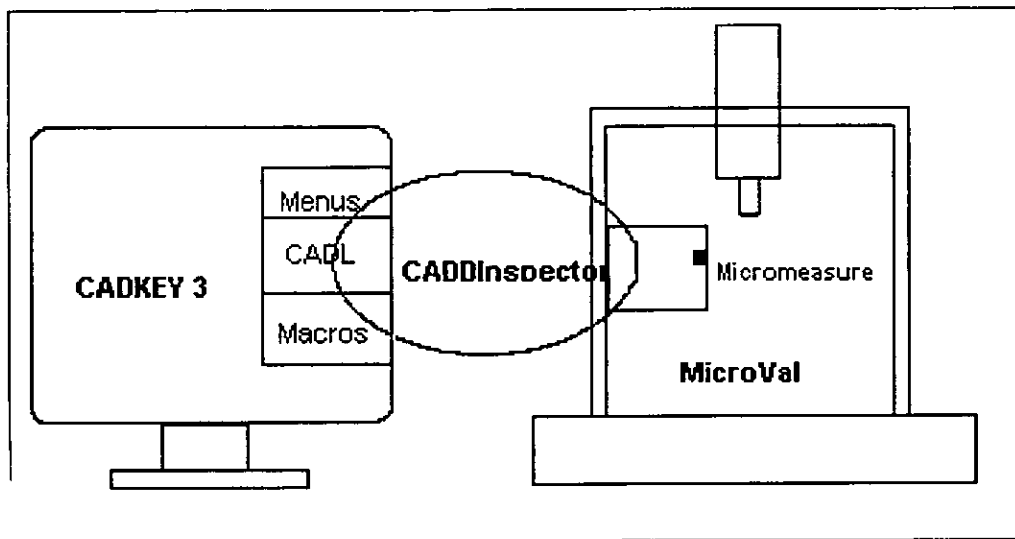


Figura 4.2 Sistema CopyCad

En la *Figura 4.3* se muestra el procedimiento para la fabricación automática de prototipos, donde colaboran las unidades de Metrología Dimensional, Dibujo Asistido por Computadora e Ing. de Manufactura.

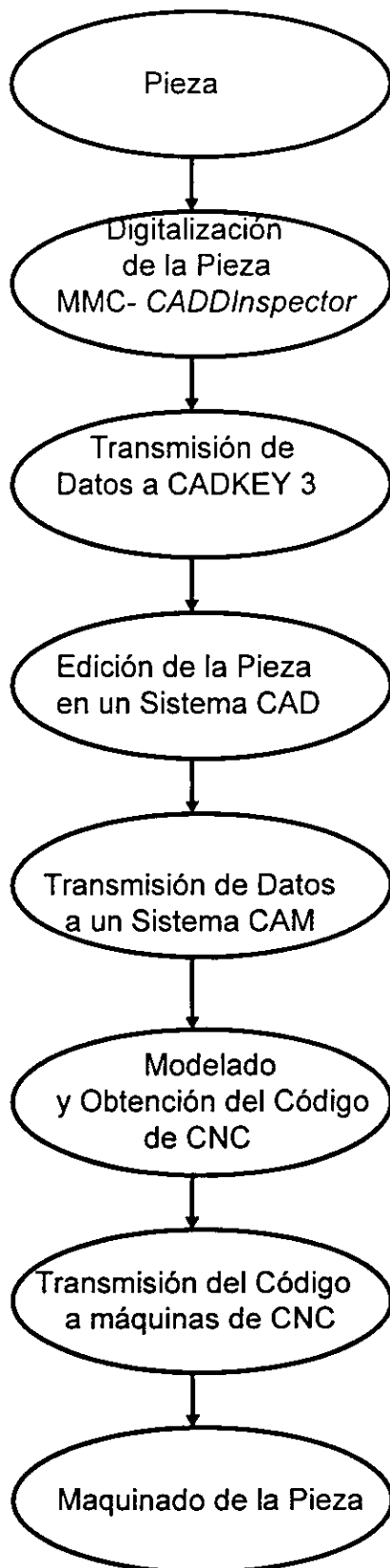


Figura 4.3 Automatización del Proceso de IR

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollar proyectos de IR con un grupo que tenga una estructura organizada, una metodología para los proyectos y equipo de laboratorio, conlleva a que estos se puedan llevar a efecto de una manera exitosa y que además sea posible realizar programas como los señalados en el *numeral 2.4*

Se cuenta con el apoyo por parte del Departamento ya que al presentar, la propuesta desarrollada en los capítulos 3 y 4, al Jefe del Departamento de Ingeniería Mecánica, considero conveniente el estructurar el grupo de desarrollo, para lo cuál se comprometió a apoyar la integración de este.

Uno de los factores que dan confianza para el éxito del grupo de desarrollo es la experiencia que se tiene en el desarrollo de proyectos en las áreas de diseño, manufactura y materiales.

Para consultas especializadas se cuenta con apoyo del exterior a través de convenios con instituciones como la Universidad de Gante, en Bélgica y se tiene contacto con otros profesionales en la universidad en el interior del país y en el extranjero.

Es conveniente comenzar con el desarrollo de un proyecto. Por tanto una de las primeras acciones es el construir una nueva máquina cortadora de metales, partiendo de una ya existente. Debido a los proyectos que se desarrollan y al uso que le dan los alumnos, es importante contar con otro equipo, el costo actual de la máquina cortadora buehler es de aproximadamente \$ 55,000 M.N. y se busca construir una cuyo costo máximo sea de 15,000 M.N. sin afectar la funcionalidad del producto.

Beneficios

El desarrollo de proyectos de IR con una metodología y un grupo de desarrollo dentro del departamento, aporta grandes beneficios tanto para la industria como para la institución y los participantes:

- Se cuenta con un equipo base cada vez más experimentado en proyectos de IR
- Para resolver los problemas que se presentan en las áreas de metrología, CAD-CAM, materiales, diseño y manufactura será necesario solucionarlos a través de investigaciones y desarrollos, realizados a través de tesis de **licenciatura** y **maestría**.
- Cada una de las unidades desarrolla estudiantes, éstos pueden ser de servicio social, becarios y tesistas.

- Participación de estudiantes de las áreas de Ingeniería Mecánica, Industrial y en computación.
- Ingresos extraordinarios para el departamento.
- Actualización de profesores
- La industria se beneficia al recibir el apoyo técnico que necesita a un costo accesible

De los Ingresos

- El destino de los ingresos que se generen de los proyectos será básicamente para la compra de nuevos equipos para Ingeniería Inversa, libros, estancias, cursos y becas para estudiantes.
- Se creará un fondo para la compra de un equipo de estereolitografía

Recomendaciones

- Implementar un programa de calibración del equipo, con el fin de garantizar la calidad en las mediciones.
- Desarrollar proyectos de IR en empresas con las que ya se ha trabajado en otros proyectos de diseño, manufactura y materiales y después vender la idea a empresas del área metalmecánica
- Establecer una relación directa con los centros de investigación de Europa y los EE.UU que se encuentren desarrollando IR
- En la medida en la que el número de proyectos y programas se incrementa será necesario establecer un programa de reuniones de trabajo coordinadas por el Jefe de Proyectos, en donde se resolverán problemas que se presenten en los trabajos en desarrollo.
- Gestionar la apertura de un programa especial de servicio social para el registro de alumnos participantes en los proyectos
- Registrar un programa de Fundación UNAM para el otorgamiento de becas para formación de estudiantes

- Desarrollar un formato especial de contrato de desarrollo tecnológico para proyectos de IR.
- Definir temas de tesis para licenciatura y maestría en cuestiones relacionadas con el proceso de IR

Integración del Grupo

- El Jefe del Departamento designará al Jefe de Proyectos considerando sea una persona que cumpla con el perfil definido dentro del capítulo 4.
- El Jefe de departamento tomando en cuenta la recomendación del Jefe de Proyectos designará a los encargados de las unidades de grupo de desarrollo
- El Jefe de Proyectos integra a la Unidad de Administración de Proyectos
- Los encargados de las unidades designan a sus especialistas

La integración y consolidación del grupo de desarrollo permitirá sentar las bases para que en un futuro, y a partir de las experiencias que se obtengan, se traslade la idea a otras universidades y/o centros de investigación.

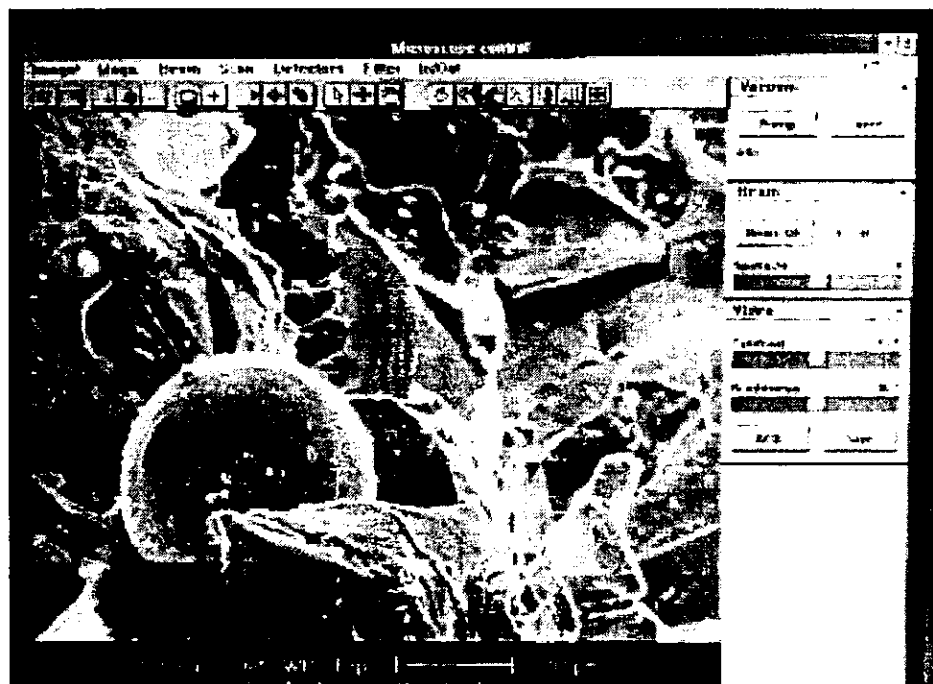
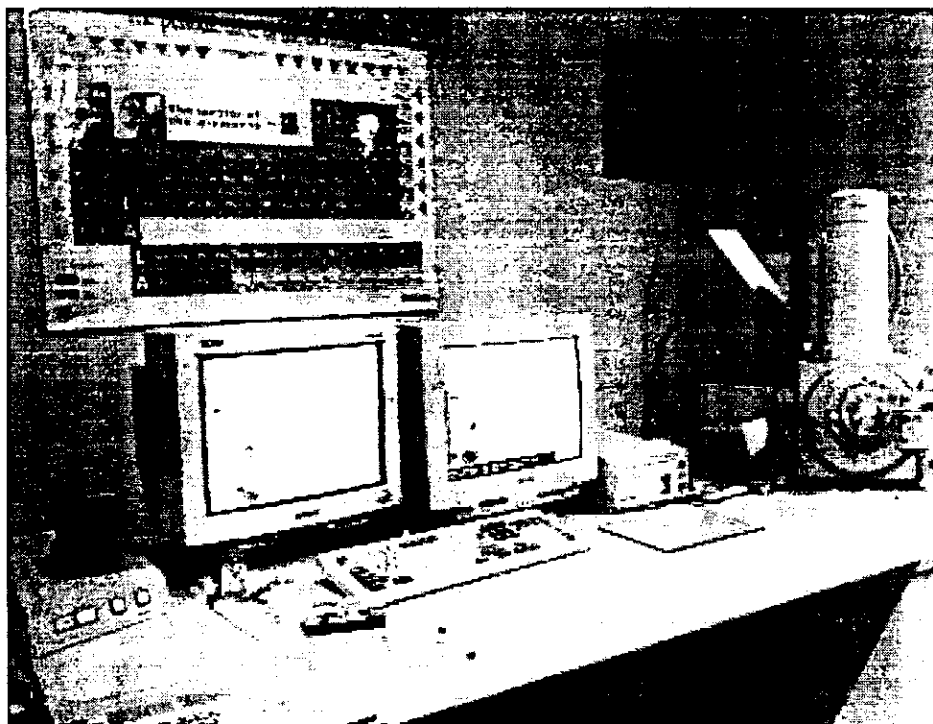
BIBLIOGRAFÍA

1. ARMY FCIM, Intro to Reverse Engineering, 1996
2. BLANCHARD BENJAMIN. Logistics Engineering and Management, Prentice Hall, 1992
3. BOSCH JOHN A. Coordinate Measuring Machines and Systems. MARCEL DEKKER, INC., 1995
4. BURGELMAN ROBERT A. Strategic Management of Technology and Innovation, Irwin 1988
5. BURGOS Z. Manual de Normas Técnicas, UNAM, 1994
6. CADDINSPECTOR. User Guide. CADKEY INC, 1990
7. DIETER GEORGE E. Engineering Design A Materials and Processing Approach, McGRAW-HILL Inc., 1991
8. GAYNOR GERARD H. Exploting Cycle Time In Technology Management. McGRAW-HILL Inc. 1993
9. GIESECKE FEREDRICK E. Engineering Graphics, Macmillan Publishing Company, 1991
10. INGLE KATHRYN A. Reverse Engineering,
11. JACKSON ASTHON. ISO 9000 Meeting the International Standards. McGRAW-HILL Inc. 1996
12. JOHNSON. ISO 9000 BS5750 Implemente Calidad de Clase Mundial. Ed. Limusa 1996
13. KWOK WAI-LUN. Reverse Engineering: Extracting CAD Data From Existing Parts, Mechanical Engineering, Marzo 1991
14. LACY JAMES A. Systems Engineering Management, McGRAW-HILL Inc. 1992
15. LOUGHBOROUGH UNIVERSITY. Quality Control Tools in the Product Development Process, 1996

16. MUNGARAY LAGARDA A. Organización Industrial de Redes de Subcontratación para Pequeñas Empresas en la Frontera Norte de México. Nacional Financiera, 1997
17. NACIONAL FINANCIERA. La Economía Mexicana en Cifras 1995
18. PRAWDA JUAN. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones, editorial Limusa, 1987
19. STARK JOHN. Practical CAD/CAM Applications, MARCEL DEKKER, INC. 1986
20. TAREK M. OWEN J. Industrial Inspection and Reverse Engineering, University of Utah, 1995
21. TAYLOR DEAN L. Computer-Aided Design, ADISSON-WESLEY. 1992
22. ULLMAN DAVID G. The Mechanical Design Process. Inc. 1992
23. VIVANCOS CALVET JOAN. De la Pieza al CAD, Centro CIM (UPC-ICT) Automática e instrumentación No. 270, enero 1997
24. WOOD KRISTIN L. Reverse Engineering Design, University of Texas at Austin, 1995
25. ZE'LENY VAZQUEZ J. Metrología. McGRAWHILL, 1995

ANEXOS

A. LABORATORIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

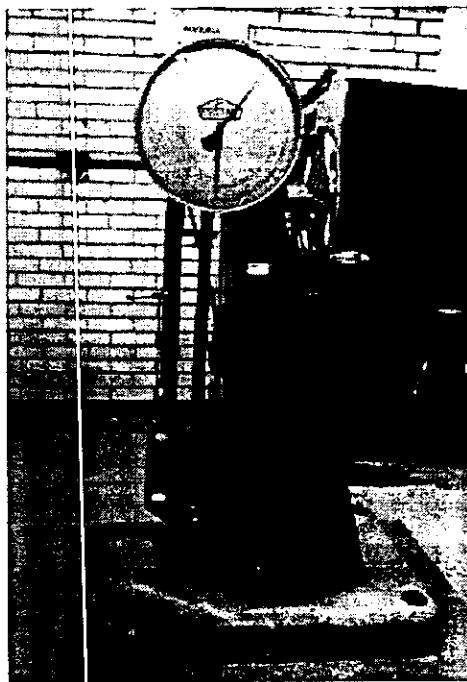


Microscopio Electrónico de Barrido (Modelo XL20 de PHILLIPS).

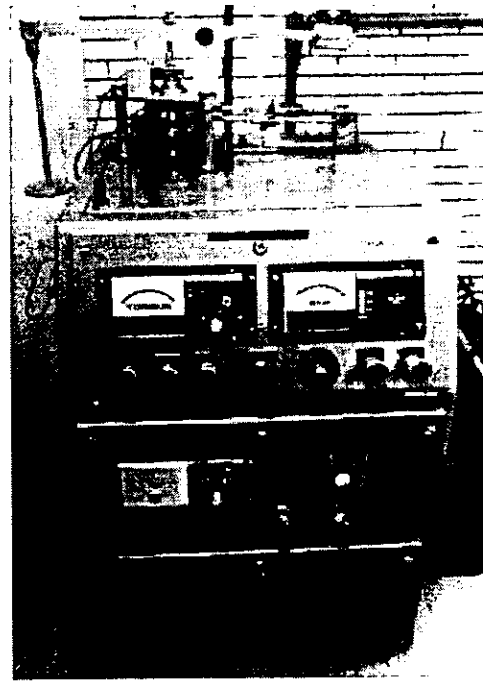
B. LABORATORIO DE PRUEBAS MECÁNICAS



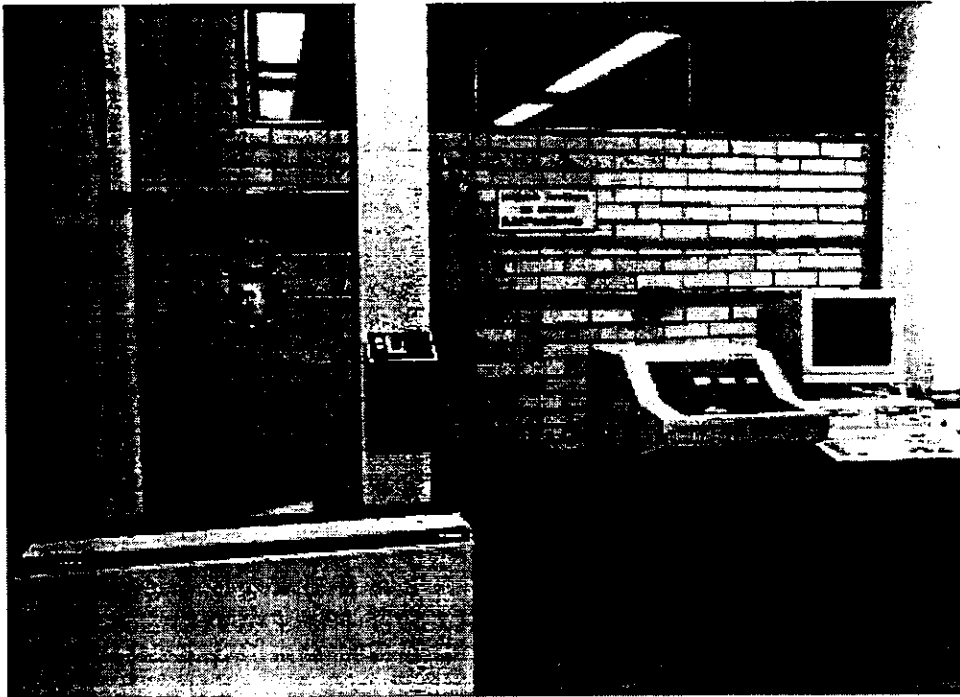
Durómetros Tipo Rockwell y Brinell



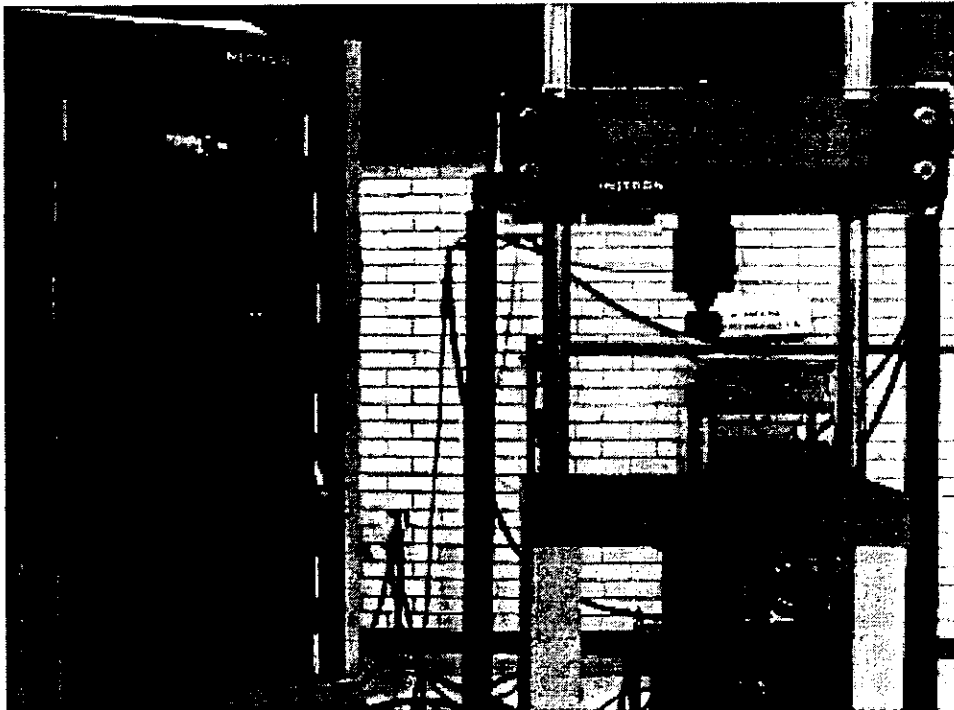
Máquina para Pruebas de Impacto



Máquina de Platos para Desgaste

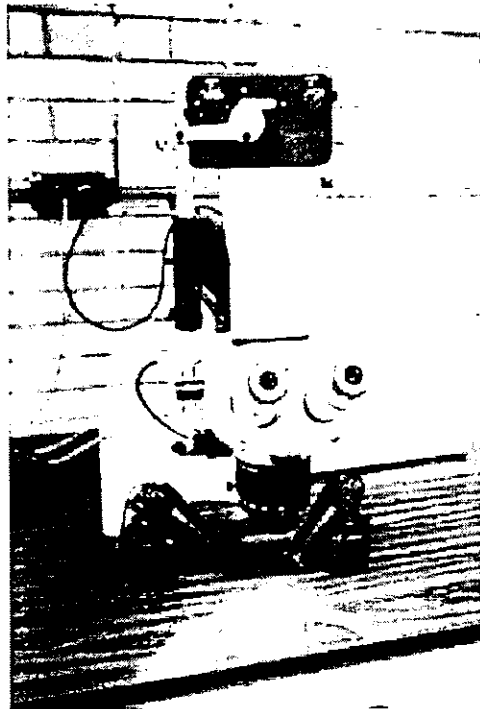


Máquina Electromecánica (500 Kg a 15 ton), computarizada para ensayos de tracción, compresión y flexión.



Máquina Servohidráulica (500 Kg. a 10 tons) para ensayos de tracción, compresión y fatiga axial

C. LABORATORIO DE METALOGRAFÍA

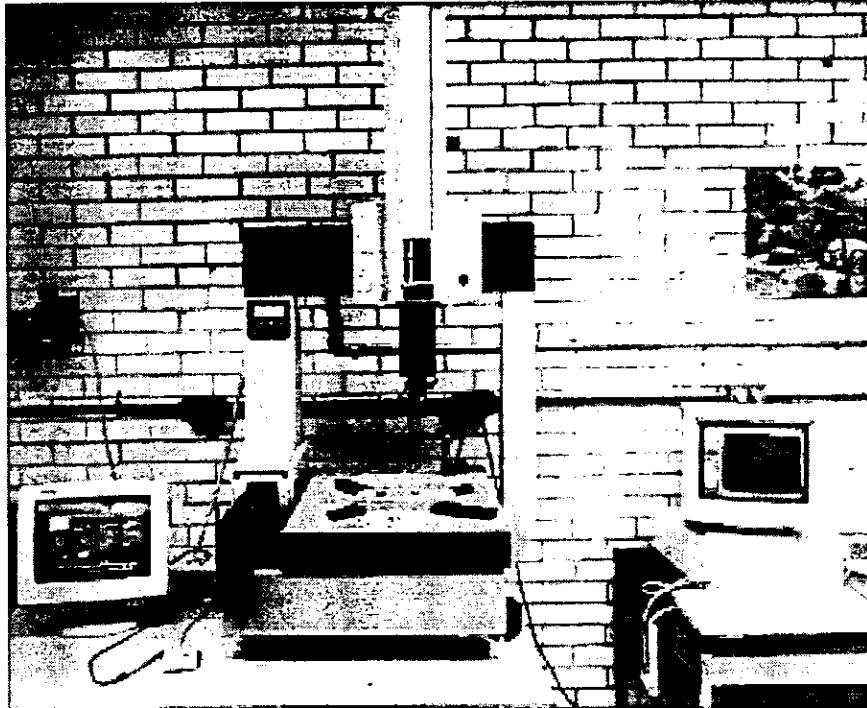


Esteroscopio con Lente Zoom de 6.3 a 32 x



Microdurómetro

D. LABORATORIO DE MEDICIONES MECÁNICAS



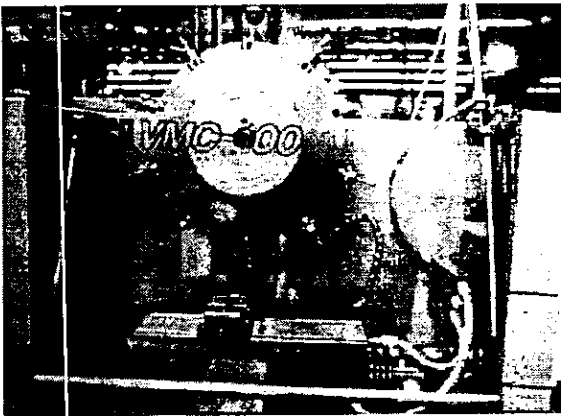
Máquina de Medición por Coordenadas. Microval de Brown & Sharpe



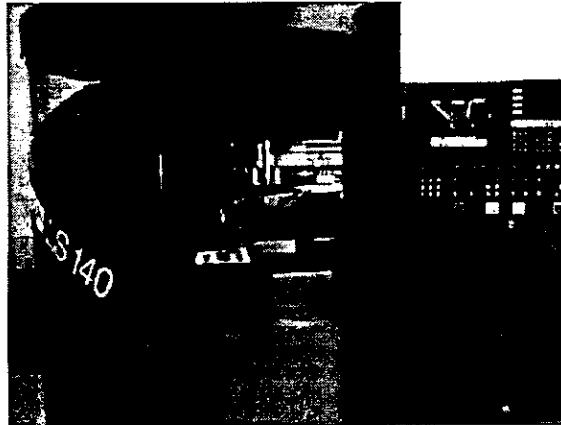
Equipo Diverso para Mediciones Mecánicas

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

E. LABORATORIO DE MANUFACTURA AVANZADA



Centros de Maquinado Vertical CNC VMC 100 y VMC 300

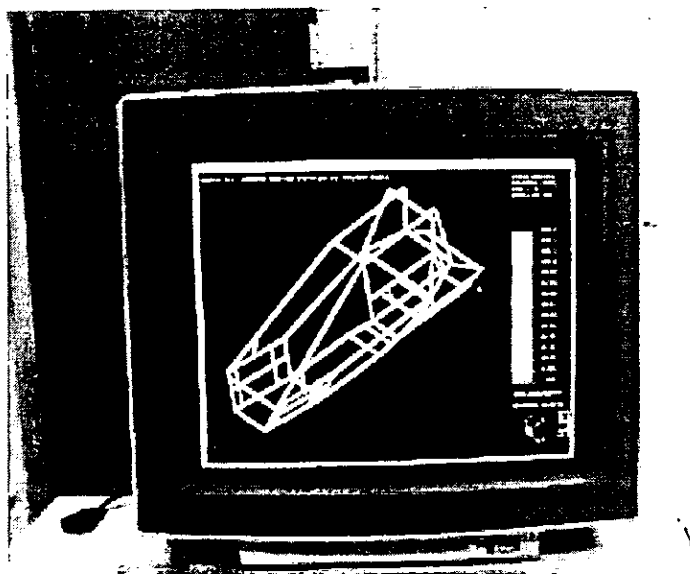


Equipo CNC para Corte con Láser LS140 de EMCO

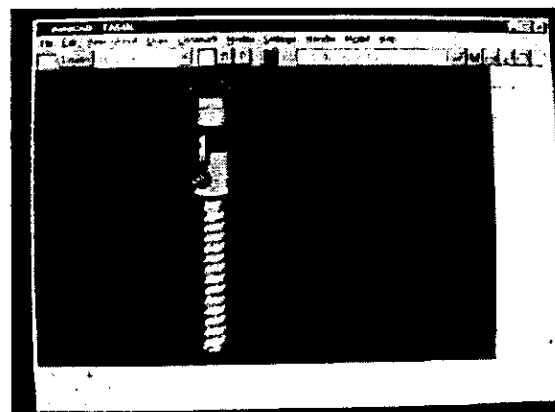
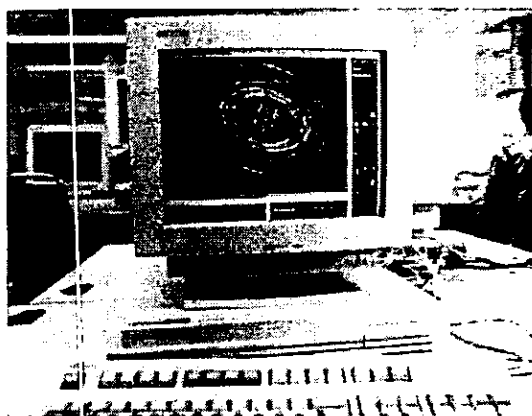


Torno CNC Emcotronic 242

F. LABORATORIO DE INGENIERÍA MECÁNICA ASISTIDA POR COMPUTADORA



Estación de Trabajo HP Apollo Serie 9000



Estaciones de Trabajo HP Series 400 y 700

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Se presentan algunos términos relacionados con la Ingeniería Inversa:

Benchmarking. Es una técnica competitiva que identifica las fortalezas y debilidades de una empresa comparándolas con las de sus competidores más importantes.

Capacidad de Mantenimiento. Es una característica del diseño de sistemas que se refiere a la facilidad, exactitud, seguridad y economía en el desempeño de las acciones de mantenimiento. Se ocupa del empaque de componentes, diagnóstico, estandarización de partes, accesibilidad, capacidad de intercambio, montaje, etc. Un sistema debe diseñarse de tal manera que pueda mantenerse sin grandes inversiones de tiempo y de recursos (personal, materiales, equipo de prueba, etc) y con un costo mínimo, mientras aún cumple su misión designada.

Capacidad de Producción. Es una medida de la facilidad relativa y de la economía al producir un sistema o producto. Las características del diseño deben ser tales que un producto pueda fabricarse de manera sencilla y con un costo mínimo, usando métodos de manufactura y procesos convencionales y flexibles. Sin sacrificar funciones, desempeño, efectividad o calidad.

Capacidad de Soporte. Es el grado en el que un sistema puede tener soporte tanto en términos de la información del diseño de cada una de sus componentes como en pruebas de operación, piezas para reposición. Implica características como estandarización, capacidad de intercambio, accesibilidad, etc.

Ciclo de Vida del Producto. Este concepto se refiere a todas las actividades de un sistema desde la identificación inicial de una necesidad hasta su retiro y desecho. Este incluye las fases del diseño conceptual y la planeación de avance, diseño preliminar, diseño de detalle, desarrollo, producción, operación, mantenimiento, soporte y el retiro.

Costo del Ciclo de Vida del Producto (CCV). Es el costo asociado a todas las etapas del ciclo de vida del producto.

En la *figura* se muestran las relaciones entre elementos del ciclo de vida y sus costos

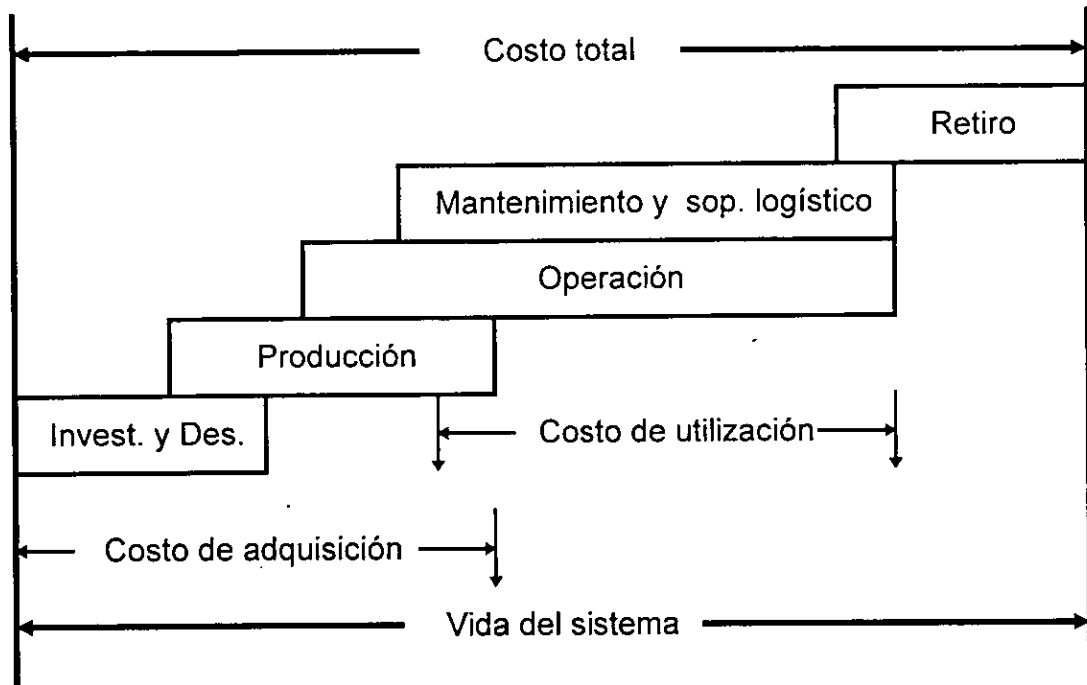


Figura. Ciclo de Vida del Producto y sus Costos

Confiabilidad. Es la probabilidad de que un sistema funcione de manera satisfactoria en un determinado período de tiempo, cuando este es usado bajo las especificaciones de operación

Diseño Asistido por Computadora. *Computer Aided Design (CAD).* Es la implementación en el proceso de diseño de técnicas de graficación en la computadora, apoyadas en software para la solución de problemas analíticos. Las ventajas que se obtienen al utilizar estos sistemas son entre otras:

- Generación rápida de los dibujos
- Dibujos más precisos
- Ahorro de tiempo y costos del rediseño

Disponibilidad. Es el grado, porcentaje, o probabilidad de que un sistema este disponible para su uso en un momento determinado

Ingeniería Asistida por Computadora. *Computer Aided Engineering (CAE).* Empleo de técnicas de análisis y simulación en sistemas CAD/CAM.

Ingeniería Concurrente. Es un enfoque sistemático, para el diseño integrado y simultáneo de productos y sus procesos relacionados, incluyendo manufactura y soporte. Este enfoque se aplica con el fin de que los diseñadores consideren desde el principio todos los elementos del ciclo de vida del producto desde la concepción hasta el desecho, incluyendo calidad, costos, planes y requerimientos del usuario.

Ingeniería del Valor. Es La aplicación sistemática de una serie de técnicas que identifican las funciones del producto, establecen valores para estas funciones y desarrollan alternativas para realizarlas a un menor costo.

Logística. En ingeniería la logística incluye una gran variedad de actividades realizadas durante el ciclo de vida del producto. Estas actividades se ocupan del flujo global de los materiales desde el proveedor-producto hasta el consumidor, la distribución de los productos desde el fabricante hasta el cliente, la transportación y manejo de materiales y el soporte durante el ciclo de vida planeado.

Manufactura Asistida por Computadora. *Computer Aided Manufacture (CAM).* Se refiere a los procesos de fabricación automática controlados a través de una computadora. Sus elementos más importantes son:

- Técnicas de CNC
- Sistemas de fabricación flexibles
- Técnicas de inspección y ensayos

Reingeniería. Dentro de este campo de estudio Reingeniería se define como el rediseño de una componente para obtener una equivalente en su funcionalidad mientras se incorporan mejoras en el diseño y/o la manufactura. Esta se aplica cuando se va a utilizar una nueva tecnología, para reducir los problemas de manufactura del diseño existente o eliminar las dificultades de operación y mantenimiento de la parte existente.