

71
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INVESTIGACION Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE PARA UNA INDUSTRIA DE AUTOPARTES

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA INDUSTRIAL
P R E S E N T A N :
MARCO ANTONIO GOMEZ AGUIRRE
ISMAEL HUERTA KURI
ALEJANDRO F. RODRIGUEZ GALINDO

DIRECTOR DE TESIS: M. EN A. RICARDO VIDAL VALLES



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y en forma particular a la Facultad de Ingeniería y a su personal docente, por brindarnos una formación académica de excelencia.

Al M. en A. Ricardo Vidal Valles y a la empresa Clevite de México S.A. de C.V., por las facilidades brindadas en el desarrollo de esta tesis.

MARCO ANTONIO

Dedicatoria:

- Papá, por tu rectitud, honestidad y constancia que sirven de ejemplo en el desarrollo y culminación de mis metas.
- Mamá, por tu comprensión y apoyo incondicional en esos grandes detalles que hicieron posible llegar a concluir esta etapa de mi vida.
- A mis hermanos, Alejandro, Arturo y José David: por su apoyo, comprensión y ejemplo de superación.

Agradecimientos:

- Al Instituto Mexicano del Petróleo, en particular al personal del Área de Ingeniería Económica por su respaldo en el desarrollo de mi carrera y de esta tesis.
- Al personal de la Gerencia de Enlace Comercial de Pemex Exploración y Producción por su apoyo en la culminación de esta tesis.

ISMAEL

Dedicatoria:

... a mis padres César Huerta Ríos y Esther Kuri de Huerta.

ALEJANDRO FELIPE

Agradecimientos:

- A mi familia, por todo el apoyo y comprensión que me han dado durante toda mi vida.
- Por la motivación e incondicionalidad de mi Mamá para ayudarme a alcanzar todas mis metas.
- Especialmente el ejemplo de honestidad que mi Papá representa como ingeniero y ciudadano.
- A mis hermanas que siempre están en las buenas y sobre todo en las malas como amigas y consejeras.
- A mis mejores amigos que siempre tienen un hombro donde apoyarme.
- A toute la famille Ogier, qui est ma seconde famille au Mexique et dans le monde.
- A mis compañeros de Digital con los que he compartido el inicio de mi vida profesional, de los que he recibido ayuda, así como mucha confianza en las actividades que realizo.

INDEX

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	I
CAPITULO I ANTECEDENTES.	
I.1 ¿QUE ES UN SISTEMA DE MANUFACTURA?.	1
I.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA.	5
I.3 EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS).	10
I.4 CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DE UN FMS.	16
I.5 BENEFICIOS DE UN FMS.	24
CAPITULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	
II.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	41
II.2 ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA.	45
II.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	54
CAPITULO III DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL.	
III.1 DATOS GENERALES DE LA EMPRESA.	63
III.2 ETAPAS DEL PROCESO	67
III.3 LISTA DE MAQUINARIA, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.	77
III.4 LISTA DE MATERIALES.	79
III.5 RELACIÓN DE MANO DE OBRA DIRECTA.	85
III.6 ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES.	87
III.7 MANTENIMIENTO Y SERVICIO	92
III.8 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.	97
III.9 VOLÚMENES Y COSTOS DE PRODUCCIÓN.	103

CAPITULO IV DISEÑO Y DESARROLLO DEL FMS.

IV.1 ANTECEDENTES.	108
IV.2 METODOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO Y DESARROLLO.	111
IV.3 CONSIDERACIONES Y DISEÑO DEL FMS.	114
IV.4 DESARROLLO DEL FMS.	138
IV.5 CONFIGURACIÓN FINAL DEL FMS.	173

CAPITULO V JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.

V.1 ANTECEDENTES.	180
V.2 ESTUDIO ECONÓMICO.	182
V.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA.	198
V.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.	201

CONCLUSIONES.	212
----------------------	------------

ANEXOS.	216
----------------	------------

BIBLIOGRAFÍA.	238
----------------------	------------

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La incorporación de nuevas tecnologías en los procesos industriales se ha convertido en el gran desafío actual y la antesala de las innovaciones que mostrarán el camino hacia el nuevo siglo. Su diseño, desarrollo e implantación es un reto para los industriales mexicanos quienes a pesar de las secuelas de la crisis económica deben actualizarse para alcanzar la eficiencia requerida por los mercados globales, propiciando la permanencia y solidez de las empresas nacionales dentro y fuera del país.

Un concepto que reúne los desarrollos tecnológicos de la automatización, la robótica y la informática, así como la aplicación de prácticas administrativas apropiadas a los requerimientos actuales de los procesos industriales son los sistemas de manufactura flexible (FMS, siglas en el idioma inglés, Flexible Manufacturing Systems), los cuales resultan ser una inversión estratégica de mediano y largo plazo que proporciona al área de producción la cualidad de responder rápida y económicamente a los cambios que el mercado demanda.

Este tipo de sistemas de manufactura se comenzó a aplicar en empresas norteamericanas, europeas y japonesas a partir de la década pasada, obteniéndose resultados favorables que han marcado la tendencia a desarrollar sistemas de producción cada vez más eficientes y adaptables al entorno actual, donde se ha terminado la época del mercado de vendedores, siendo el turno al mercado de compradores, los cuales eligen a partir de factores cada vez más cambiantes sus productos, de tal forma se debe de responder al mercado haciendo uso de la planta como una herramienta que proporcione una ventaja competitiva determinante.

El objetivo de este trabajo es aplicar los conocimientos de Ingeniería Industrial en el diseño y desarrollo de un sistema de manufactura flexible para una empresa nacional dedicada a la fabricación de autopartes y en forma particular, en la manufactura de cojinetes rectos de biela.

En primera instancia se presentan los antecedentes sobre los sistemas de manufactura, su clasificación y parámetro de cuantificación, así como, la evolución, definición, elementos y beneficios de los FMS. En seguida se ubica la problemática que presentan los sistemas de manufactura convencional ante las condiciones actuales de competencia y dinamismo de los mercados globalizados, comparándolos con los planteamientos modernos de manufactura, ubicando a la flexibilidad de los procesos y productos como el elemento de respuesta ante esta problemática. De igual modo se presentan los factores de mayor ocurrencia que determinan la inversión e incorporación de los sistemas de manufactura flexible, de aquí se desprende la intención de realizar el diseño y desarrollo de un FMS en una industria nacional. Para ello se contó con la colaboración de la empresa Cle vite de México S.A. de C.V., quien permitió la realización del estudio en la planta ubicada en el parque industrial de Lerma, Edo. de México.

Con la finalidad de conocer la situación de la empresa se presenta una breve semblanza sobre su historia, los productos que fabrica y sus principales clientes. El proceso que se analiza en la investigación se restringe a la fabricación del cojinete recto de biela, desde la operación de corte de materia prima hasta la operación de rectificado del diámetro interior (aerobore), describiendo cada una de las operaciones en cuanto a

maquinaria, equipos, herramientas, materia prima, mano de obra directa, manejo de materiales, aseguramiento de la calidad y mantenimiento. También se describe parámetros de producción como son: planeación, control, volúmenes y costos. Se debe mencionar que debido a la confidencialidad de cierta información propia de la empresa, se manejan indicadores y estimaciones para la realización del proyecto de tesis.

Una vez que se ha identificado y analizado el proceso y producto sujetos a la investigación y desarrollo del sistema de manufactura propuesto, se describe la metodología que se aplicó, así como las consideraciones de diseño que permiten aplicar los conceptos de los FMS a la fabricación de cojinetes rectos de biela, de forma que el proyecto resulte factible técnica y económicamente. Se determinan los subsistemas o aplicaciones que conforman el sistema de manufactura flexible propuesto, desde el punto de vista de los elementos que los integran, así como su grado tecnológico y funcionamiento; de igual modo se describe el tipo de infraestructura informática y de comunicaciones que permite la integración de todos y cada uno de los elementos que intervienen en el sistema y la estructura de los programas que permitan definir las aplicaciones.

Para el desarrollo del sistema se delimitan las aplicaciones en función de las variables que intervienen, los elementos humanos y técnicos que las conforman, estableciendo la relación entre el FMS y los demás sistemas existentes en la empresa, describiendo la operación de la herramienta de integración que permite el funcionamiento armónico de los sistemas y sus elementos. Concluyendo con el diagrama lógico y la distribución de planta que se obtienen del diseño y desarrollo del sistema de manufactura.

Por último se realiza la justificación económica del proyecto llevando a cabo un estudio comparativo entre el sistema de manufactura convencional con que cuenta la empresa Clevite y el FMS propuesto; se determina la rentabilidad económica a través del uso indicadores como son el valor presente neto y la tasa interna de rendimiento, considerando los factores tangibles e intangibles propios de los sistemas de manufactura flexible. Se realiza un estudio de sensibilidad que permite establecer diferentes escenarios en cuanto a los ahorros en costos, incrementos en ventas y condiciones de financiamiento que se determinaron para el sistema propuesto.

Existen conceptos técnicos y teóricos aplicados en esta investigación que por su importancia requieren definirse y explicarse con mayor detalle, esto se lleva a cabo en los anexos correspondientes al final del documento.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

- I.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE MANUFACTURA?.**
 - I.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA.**
 - I.3 EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS).**
 - I.4 CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DE UN FMS.**
 - I.5 BENEFICIOS DE UN FMS.**
-
-

1.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE MANUFACTURA?

La manufactura es una de las actividades técnico-económicas más antiguas que ha desarrollado la humanidad, la cual ha estado sujeta a un constante estudio y desarrollo. La manufactura se define como la transformación de materiales e información con el propósito de satisfacer las necesidades del hombre. Aunque el concepto de manufactura puede aplicarse en forma general a cualquier producto, resulta ser de mayor entendimiento si se habla de grandes volúmenes de productos como: automóviles, televisores, zapatos, etc., cuyo tamaño es relativamente pequeño.

La manufactura es una de las principales actividades con que cuenta un país para generar riqueza. La productividad de una nación, medida como el producto interno bruto por trabajador, es un buen indicador del desempeño, en conjunto, de la industria manufacturera. El nivel de desarrollo del sector manufacturero de un país también se puede medir por medio de la relación entre las exportaciones e importaciones.

En esencia las actividades de manufactura presentan dos importantes características, la de ser repetible y predecible. Es decir, la actividad se puede controlar en cuanto a diseño, procesos y tiempo, por lo cual se puede obtener un volumen determinado de productos con características funcionales y físicas iguales. Con este argumento se pueden atacar otros factores, como son: la programación de las actividades de producción, las entregas oportunas a clientes y satisfacer las expectativas de calidad, entre otros. Por lo tanto, la interacción de todos los factores que intervienen en los procesos de transformación de materiales se le conoce como sistema de manufactura.

Un sistema de manufactura comienza su funcionamiento con el diseño del producto, el cual debe cubrir las necesidades del cliente, con la aportación creativa del personal encargado en elaborar este diseño; y concluye, con la entrega del producto terminado, totalmente ensamblado, inspeccionado y listo para ser comercializado (figura 1.1).

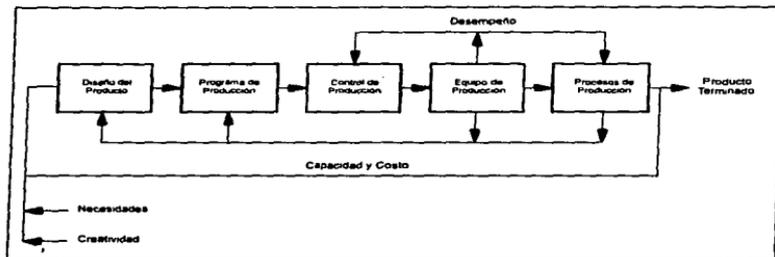


Figura 1.1 El Sistema de manufactura.

Existen índices que miden el desempeño de los sistemas de manufactura, entre los cuales se tienen:

Capacidad Instalada.- Es el máximo volumen de producción que puede generar un sistema. Si se manufactura un sólo tipo de producto, la capacidad instalada se representa por una cantidad, que se maximiza de acuerdo a los requerimientos del mercado. En caso de manufacturar más de un tipo de producto, el cálculo de este concepto se vuelve más complejo y, una sola cantidad no es suficiente para cuantificarlo. Esto se debe, en la mayoría de los casos, a que la demanda que se tiene de cada producto es diferente; los procesos, recursos y tiempos empleados cambian,

presentándose dependencia entre el volumen de producción de una pieza con respecto a otra.

Inventario en Proceso.- Es la materia prima o producto semielaborado del sistema de manufactura que se encuentra en maquinaria y equipos; áreas de almacenamiento; subsistemas de transportación o en estaciones de inspección, durante un cierto periodo. Se pretende que este indicador se mantenga lo más bajo posible por las siguientes razones:

- Los costos por inventarios aumentan y no producen beneficios económicos mientras se encuentren dentro del proceso o en el almacén. Adicionalmente, se presentan incrementos en los costos por manejo de los materiales y espacio que ocupan.
- Produce retrasos en la elaboración de productos, generando incumplimientos en los tiempos de entrega, haciendo esperar al cliente.
- La mayor estadia de los productos en la fabrica los hace más vulnerables a los cambios en la demanda; así también, aumenta el tiempo que transcurre entre elaboración y uso, haciéndolos más propensos a sufrir desperfectos imprevistos.

Tiempo de Proceso y Tiempo Ciclo.- El tiempo de proceso se define como el tiempo en que se elabora un producto o lote. Mientras que el tiempo ciclo es el mayor tiempo en que se lleva a cabo una cierta actividad dentro del proceso y es el que marca el ciclo de proceso e identifica los cuellos de botella. Los beneficios que se generan por abatir estos tiempos, son similares a los que se obtienen por reducir los inventarios.

Compromisos con los Clientes: Es uno de los factores que determinan la sobrevivencia de la empresa, es un indicador complejo de controlar, ya que en el intervienen los volúmenes y mezclas de producción, tiempos y compromisos de entrega, así como, la disponibilidad de las variedades de productos que se soliciten. Es importante señalar que estos factores entran en conflicto unos con otros, de ahí su complejidad.

Flexibilidad.- Es la habilidad que tiene un sistema de producir más de un tipo de productos con diferentes variantes. Se pueden distinguir dos clase de flexibilidad:

- **Flexibilidad en el Producto.-** Versatilidad del sistema de manufactura para producir diferentes tipos de piezas o productos en un tiempo determinado.
- **Flexibilidad del Proceso.-** Versatilidad del sistema de manufactura para producir el mismo tipo de pieza o productos por medio de diferentes procesos.

Calidad del producto.- Es un parámetro importante para los sistemas de manufactura. Interviene en actividades de inspección y control de procesos buscando el cumplimiento de las dimensiones y especificaciones de diseño del producto, con el objeto de satisfacer los requerimientos y expectativas de los clientes.

Existen otros indicadores que evalúan el funcionamiento de un sistema de manufactura, sin embargo su uso y determinación está en función de las necesidades propias del sistema y de los requerimientos de la empresa.

I.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA

Existen diversos factores para clasificar los sistemas de manufactura, de acuerdo a su modelo, se clasifican en:

- **Intermitentes.-** Se refiere a modelos donde se elaboran diferentes productos. Por ejemplo: automóviles, circuitos integrados, etc.
- **Continuos.-** Modelos donde se producen cantidades de materiales. Como ejemplo, se tiene la refinación del petróleo.

Según el grado de dependencia del proceso respecto al producto manufacturado, se establecen cuatro tipos principales:

- **Independiente.-** El proceso no depende del diseño del producto. Por ejemplo, un taller con máquinas herramientas convencionales.
- **Programable.-** El proceso puede adaptarse a una variedad de productos. Se emplean máquinas de control numérico.
- **Flexible.-** Es un proceso con una configuración única, que permite fabricar una amplia gama de productos. Se emplean cadenas de montaje y células de manufactura.
- **Dedicados.-** El proceso es apto para un único diseño del producto. Se basa su funcionamiento en las líneas transfer.

Los sistemas independientes son los más flexibles y baratos, pero también, son los menos productivos y de mayores costos unitarios. Los dedicados son rígidos y muy costosos, pero de elevada productividad y bajo costo unitario.

Con relación a la normalización y vida media del producto, los sistemas dedicados son adecuados para elementos estandarizados, de vida media y larga, mientras que los independientes, son apropiados para productos de vida corta y poco estandarizados.

Otra forma de clasificar los sistemas de manufactura, es de acuerdo a su distribución de planta (layout):

- Punto fijo
- Por producto
- Por proceso
- Tecnología de grupos

Las diferencias entre estos sistemas de manufactura es más fácil de entender si se observa el flujo de los materiales a través del sistema.

La manufactura por punto fijo, es usada para grandes productos como son: barcos, aviones, etc.; el tamaño del producto hace imposible que éste se mueva a través del sistema; por lo cual, todos los recursos (mano de obra, materia prima, maquinaria) son llevados al lugar donde se fabricará el producto (figura 1.2).

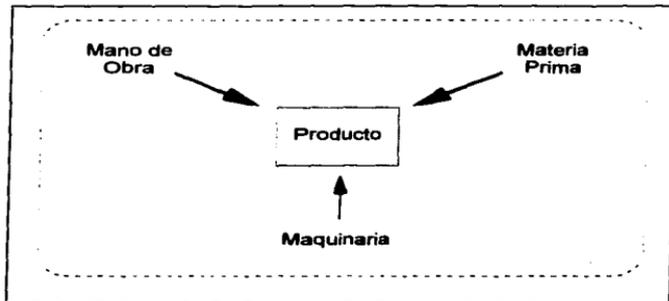


Figura 1.2 Layout por punto fijo.

Un sistema de manufactura con layout por producto, también conocido como producción en línea, es diseñado para un tipo específico de productos, donde éstos pasan de un proceso a otro sin cambiar la secuencia de atención en las diferentes máquinas. Estos sistemas se emplean para grandes volúmenes de producción y de pocas variedades de productos; su aplicación requiere el uso de maquinaria especializada y costosa; la mano de obra se especializa en el proceso. Permite tiempos de entrega cortos e inventarios de producto en proceso bajos (figura 1.3).

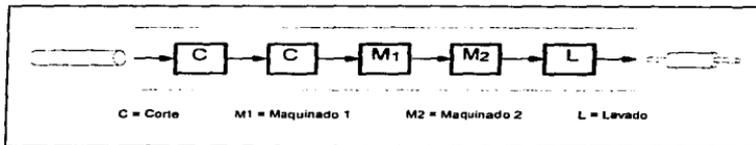


Figura 1.3 Layout por producto.

Los sistemas de manufactura por proceso (o por lote), son aquellos en los que la distribución se hace de acuerdo a las diferentes actividades que se realizan en la manufactura de los productos; es decir, se agrupa la maquinaria y equipo, con características de funcionalidad similar, en estaciones de trabajo. Se fabrican volúmenes pequeños de productos, pero con una gran variedad. La maquinaria y equipo es flexible, los tiempos de entrega se incrementan y hay un mayor requerimiento de mano de obra especializada en el producto, (figura 1.4).

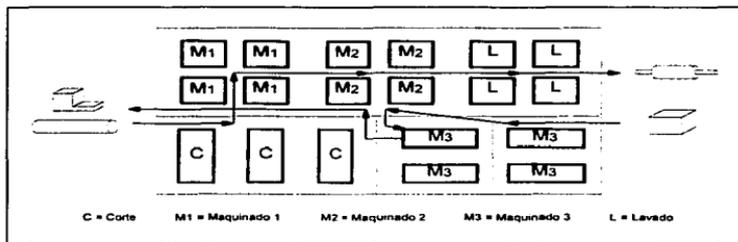


Figura 1.4 Layout por proceso.

La tecnología de grupos, también conocida como célula de manufactura, es una combinación de los dos casos antes mencionados, en este sistema se sigue un recorrido secuencial por las diferentes maquinarias, además, existe una distribución en la que se realizan actividades comunes. Las partes o piezas de los productos se agrupan en "familias", de acuerdo a sus características físicas y necesidades de proceso. Estos sistemas basan su funcionamiento en el uso de maquinaria de control numérico y en la aplicación de disciplinas como la automatización y la robótica (figura 1.5).

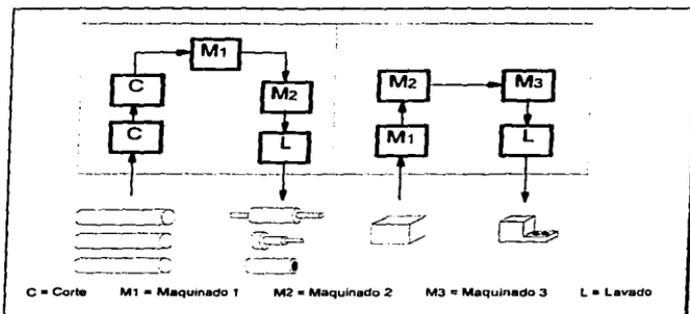


Figura 1.5 Tecnología de grupo (célula de manufactura).

Las características generales que presentan los diferentes sistemas de manufactura clasificados por su layout se presentan en la tabla 1.1.

Característica	Por Producto	Por Proceso	Tec. Grupo	Punto Fijo
Tiempo de entrega	Bajo	Alto	Bajo	Medio
Tiempo de proceso	Bajo	Alto	Bajo	Medio
Flexibilidad del producto	Baja	Alta	Media-Alta	Alto
Flexibilidad a la demanda	Media	Alta	Media	Media
Utilización de maquinaria	Alta	Media-Baja	Media-Alta	Media
Utilización de mano de obra	Alta	Alta	Alta	Media
Costo unitario por producto	Bajo	Alto	Bajo	Alta

Tabla 1.1 Características generales de los tipos de layout.

1.3 EL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE (FMS)

La evolución de la manufactura se puede representar gráficamente de la siguiente forma:

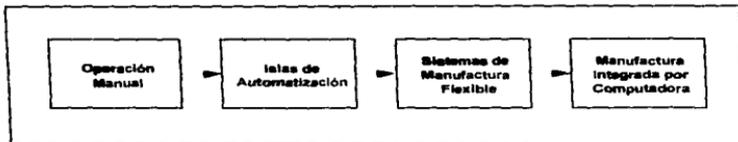


Figura 1.6 Evolución de la manufactura.

Como muestra la figura 1.6, los procesos y sistemas de manufactura se encuentran en un estado de transición de la operación manual hacia la eventual realización de la manufactura integrada. El paso anterior a la manufactura integrada por computadora se denomina manufactura flexible.

La flexibilidad es una característica importante en los modernos métodos de manufactura; significa que el sistema de manufactura es versátil y adaptable, al mismo tiempo que es capaz de manejar volúmenes de producción relativamente altos. Es versátil en la medida en que puede producir una variedad de partes, y adaptable, en cuanto a que puede ser rápidamente modificado para producir una línea de partes completamente diferentes. Esta flexibilidad puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso en un mercado de competencia internacional.

En suma se puede decir que flexibilidad es la velocidad con que un sistema puede reaccionar y adaptarse a los cambios; además debe existir durante todo el ciclo de vida del producto desde el diseño hasta la manufactura y comercialización.

Adicionalmente, el sistema de manufactura flexible puede proveer el concepto de flexibilidad para llevar a cabo las metas de adaptación al mercado cambiante. El grado y nivel de flexibilidad del sistema está limitado por las fronteras tecnológicas, por lo tanto, se debe entender que no es la solución a todos los problemas de manufactura; las expectativas del usuario estarán en función de la capacidad del sistema.

Así por ejemplo, un carpintero con herramientas básicas constituye un sistema flexible, sobre todo si se toma en cuenta que no existe en el mercado una máquina que pueda simular el trabajo de este artesano. El carpintero tiene un límite en el número de artículos que puede hacer, cuando ese límite es sobrepasado, no es posible incrementar la productividad.

La productividad es un elemento esencial en cualquier actividad y para ser competitivo se debe buscar el incremento de esta variable.

En este contexto el sistema de manufactura flexible no sólo provee de flexibilidad al sistema, sino que también proporciona un incremento en la productividad.

La manufactura flexible consiste en utilizar las tecnologías apropiadas, de forma tal que se logre el balance óptimo entre flexibilidad y productividad.

Estas tecnologías incluyen el manejo automático de materiales, tecnología de grupos, control numérico por computadora, etc.

Los sistemas de manufactura flexible son aplicados en una gran variedad de actividades de manufactura, como: maquinados, terminados, ensambles, entre otras. Estos sistemas pueden diferir en su grado de flexibilidad, dependiendo del número de elementos que integran el sistema. No obstante de los diferentes grados de flexibilidad, tienen características comunes, que según Graham y Rosenthal, 1986, son:

Integración.- Interdependencia entre las diferentes partes que componen el sistema, que hace que trabajen juntas y en armonía, basándose en procedimientos establecidos.

Inteligencia.- Habilidad de interpretar los datos de entrada y producir las salidas que cumplen las expectativas de los usuarios.

Adaptabilidad.- Velocidad con que el sistema puede reaccionar a los cambios.

El nivel y fortalecimiento de un sistema y su flexibilidad, depende de la intensidad de sus características de integración, inteligencia y adaptabilidad, por lo que raramente se podrán encontrar dos sistemas con el mismo grado de eficiencia y flexibilidad.

Un sistema de manufactura flexible está integrado por una máquina o grupo de máquinas alimentadas por un sistema automático de manejo de materiales, controladas por computadora y con un sistema de manejo de

herramientas. Debido a su capacidad de manejo de herramientas y a su control por computadora, puede ser reconfigurado continuamente para elaborar una amplia variedad de partes.

Los elementos básicos necesarios para que un sistema de manufactura pueda ser catalogado como un FMS, son los siguientes:

1. Control por computadora
2. Capacidad de manejo automático de materiales
3. Capacidad de manejo de herramientas

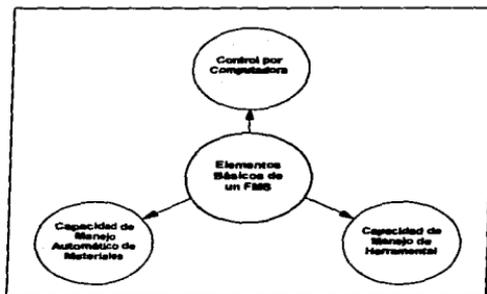


Figura 1.7 Elementos básicos de un FMS.

La manufactura flexible representa un gran paso hacia la manufactura completamente integrada, en cuanto que incluye la integración de procesos de producción automatizados. En la manufactura flexible, la máquina automática de manufactura y el sistema automático de manejo de materiales

comparten comunicación instantánea por la vía de una red de computadora. A esto se le llama integración en pequeña escala.

Un sistema de manufactura flexible es aquel que por medio de la comunicación adecuada de un control por computadora, un sistema de comunicación e interacción entre equipos y adecuado proceso de manufactura, permite al área de producción responder rápida y económicamente a los cambios significativos en su ambiente de operación.

Un sistema de manufactura flexible es un arreglo de equipo interconectado por un sistema de transporte; el transportador lleva trabajo a las máquinas en contenedores u otras unidades de interfases, en forma rápida y automática. Una computadora central controla las máquinas y el sistema de transporte. En la figura 1.8 se muestra una típica distribución de un sistema de manufactura flexible.

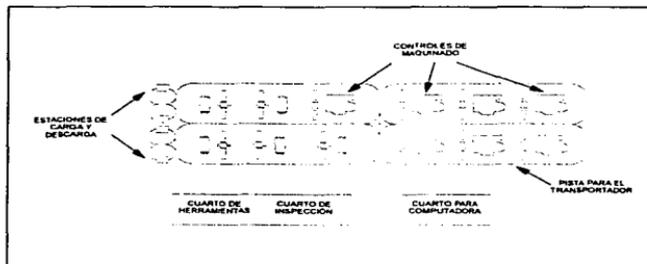


Figura 1.8 Distribución típica de un FMS.

La idea clave en FMS es coordinación del flujo de trabajo, la cual es llevada a cabo por medio de la computadora de control central, realizando las siguientes funciones:

- Programación de trabajos en las máquinas herramientas.
- Carga en las máquinas los programas requeridos (dando instrucciones detalladas de como producir una parte) para los procesos.
- Manda instrucciones al sistema automatizado de transporte.

La secuencia general que siguen las piezas o productos en un sistema de manufactura flexible es: las piezas que van a ser manufacturadas son manualmente colocadas en las estación de cargado, y la computadora toma el control, moviendo el producto a las diferentes estaciones usando vehículos automatizados, los cuales deberán ser guiados por rieles o por cualquier otro medio. Después de haber pasado por todas las estaciones necesarias para cumplir con los procesos de manufactura, usualmente dos o tres, el trabajo es llevado de regreso a la estación de cargado donde es removido para incorporarse a la siguiente parte del proceso.

Escribir programas para el control de FMS no es un problema trivial, la paquetería existente es por aplicación, y son complejas las interacciones de tiempo real con el computador y equipo remoto, lo cual requiere gran experiencia por parte del programador, particularmente para sistemas grandes. Para simplificar este problema muchos sistemas usan un arreglo jerárquico para un control de tiempo real.

I.4 CARACTERÍSTICAS Y ELEMENTOS DE UN FMS

Características Generales de los Sistemas de Manufactura Flexible

En flexibilidad:

- Posibilidad de manufacturar varias piezas de distinta forma, dimensiones y material.
- Entrada de piezas al azar.
- Almacenamiento de una gran variedad de programas de trabajo.
- Flexibilidad del programa de control y administración para introducir cambios y nuevos módulos.

En automatización:

- Proceso de maquinado.
- Cambio de herramientas.
- Cambio de piezas.
- Transporte entre máquinas.
- Limpieza de las piezas.
- Evacuación de virutas.
- Comprobación de cotas y corrección del desgaste de la herramienta.
- Identificación de piezas y procesos correspondientes.

En productividad:

- Funcionamiento sin operarios al menos durante un turno de trabajo.
- Rapidez en los cambios de las herramientas y piezas.
- Tiempos de comprobación cortos.
- Optimación de las condiciones de maquinado.

En calidad del producto:

- Inspección de piezas incluida en las fases de maquinado.
- Autocorrección de desviaciones.
- Estabilidad térmica.
- Rigidez de las máquinas.
- Precisión de las guías, actuadores y sensores.
- Control de desgaste de herramientas y elementos de fijación.

En fiabilidad del proceso:

- Control del desgaste de herramientas y herramientas.
- Control de las condiciones de corte.
- Control de desviaciones y corrección automática.
- Mantenimiento preventivo.

Estas especificaciones determinan un equipo con las siguientes características generales:

- Capacidad de modificar rápidamente los programas de manufactura, tanto en cantidad como en tipo de piezas.
- Capacidad de absorber los cambios de diseño y especificación de las piezas.
- Capacidad de trabajo desatendido en largos periodos de tiempo.
- Capacidad de garantizar una calidad de cero defectos.

- Capacidad de trabajo sin inventarios intermedios.
- Política de cero inventarios.
- Posibilidad de utilización óptima de los equipos.
- Mantenimiento preventivo.
- Capacidad de entrega inmediata de los pedidos.

Componentes de un Sistema de Manufactura Flexible

Un sistema de manufactura flexible se puede desglosar en los siguientes subsistemas:

- Materiales.
- Producción.
- Mantenimiento y transporte.
- Control.
- Administración.
- Mano de obra.

Materiales

En materiales, se incluyen las piezas a fabricar, las herramientas y los elementos de fijación en maquinaria. Todos ellos precisan de un estudio profundo de simplificación y normalización antes de la instalación del sistema flexible.

El diseño de piezas debe revisarse para facilitar su maquinado, eliminar variantes innecesarias, reducir excesos de material a maquinar y simplificar los montajes.

El número de herramientas a utilizar debe reducirse, normalizando: taladros, radios de acorde, tipos de herramienta, etc. Se aplicarán sistemas de herramientas normalizadas, de acoplamiento rápido para reducir los tiempos de cambio de herramienta.

Es preciso revisar y normalizar los procesos de manufactura adaptando los ciclos y condiciones de trabajo a las nuevas máquinas.

El diseño de herramientas es radicalmente distinto, dado que la precisión en la ubicación de la herramienta se consigue por el posicionamiento de la misma; la función del herramienta se reduce a la fijación y colocación de la pieza. Además la propia flexibilidad del sistema aconseja adaptar fijaciones de tipo universal.

Los trabajos de normalización y codificación de los materiales se enfocan, en general, mediante los métodos que emplea la tecnología de grupos, permitiendo su agrupación en familias adecuadas a las características de los equipos disponibles.

Producción

En producción se engloban las máquinas, herramientas y herramientas, los puestos de montaje, de medición e inspección.

Las máquinas, son de control numérico y la tendencia es diseñarlas con mayor robustez, dado que están sometidas a condiciones de trabajo extremas y a un elevado porcentaje de utilización. La precisión requerida es función exclusiva de las condiciones de máquina y exige de las mismas una mayor rigidez en el bastidor y en la cadena cinemática; una gran precisión en el guiado, con eliminación de juegos (rectitud y planitud en los elementos de guía) y alta estabilidad térmica, a nivel de toda la máquina y de los elementos con mayor carga térmica, como el mandril o los cojinetes, lo cual se logra mediante un buen sistema de refrigeración de la herramienta o con un proceso de autocorrección de las desviaciones provocadas por las diferencias térmicas entre las herramienta y el bastidor de la máquina.

Otra tendencia general es englobar en las máquinas el máximo de funciones elementales de maquinado para evitar cambios y transporte de piezas entre ellas, lo que implica el diseño centros de maquinado cada vez más universales.

La incorporación en la misma máquina, de sensores para la medición de coordenadas y procesos de inspección visual, permite automatizar también la verificación final de las piezas y modificar las condiciones de maquinado en función de los resultados detectados.

Mantenimiento y transporte

En mantenimiento y transporte se consideran los cambiadores automáticos de piezas y herramientas, los almacenes de las mismas y el transporte de piezas entre máquinas o entre las zonas de carga y descarga y el almacén central. Así también, se incluyen los sistemas de eliminación de virutas.

Según la complejidad del sistema, estos elementos pueden ser inspeccionados desde el control numérico de la máquina herramienta o bien disponer de su propio control coordinado con el de la máquina a través del microprocesador central.

Para posibilitar la entrada de piezas al azar, se dispone de un procedimiento de identificación de piezas y herramientas que permite al sistema acceder al programa adecuado de trabajo.

Control

El control es un subsistema que tiene a su cargo todas las funciones de mantenimiento, supervisión y coordinación de las variables del sistema y actúa sobre el sistema a través de los controladores numéricos, manipuladores, robots, etc. Su estructura, dependiendo de la complejidad del sistema, puede constar de varios niveles, desde los sensores y actuadores a nivel máquina, hasta la computadora central de la empresa, pasando por todos los niveles intermedios necesarios.

Administración

Subsistema que incluye los programas necesarios para garantizar el funcionamiento del sistema; tales como, programas de maquinado para cada pieza, programas de movimiento para los manipuladores y elementos de transporte. Sus funciones principales son:

- Administración de herramientas. Cálculo de vida útil y procedimientos de reparación.

- **Administración de materiales.** Cálculo de inventarios en línea, órdenes de trabajo y control de flujo de materiales.
- **Administración de recursos.** Carga de máquinas, planificación y distribución del trabajo.
- **Administración del mantenimiento preventivo, tanto de máquinas como de herramientas.**
- **Estudios de simulación de planes de manufactura con detección de colas, saturación de máquinas, etc..**
- **Generación de estadísticas e informes; transmisión de datos a las computadoras generales de administración empresarial.**

Mano de obra

Si bien la manufactura flexible es un sistema altamente automatizado, esto no significa que no precise en su estado de desarrollo actual, de recursos humanos para su operación. Las máquinas operan automáticamente y sólo requieren de la mano de obra en operaciones especiales, aun imposibles de automatizar de una forma rentable.

Pero se precisa del hombre para dirigir, vigilar, mantener y, según los casos, **alimentar al sistema.**

Las funciones a desarrollar por el hombre son, en general:

- La dirección del equipo; es decir, planificación de la producción, resolución de las desviaciones y anomalías respecto al funcionamiento previsto y mando del equipo humano de soporte.
- Mantenimiento de la instalación en todos sus elementos, mecánicos, eléctricos, hidráulicos e informáticos.
- Preparación de herramientas, su afilado y reposición.
- Preparación de herramientas para la puesta a punto y mantenimiento de de la maquinaria y de los equipos de transporte.
- Si el caso lo requiere, carga y descarga de piezas para la línea con su montaje en los elementos de fijación.

Además de estas funciones directamente relacionadas con la operación del sistema, se requiere la intervención del hombre en la programación de los equipos que integran el sistema.

Según la importancia de la instalación y su nivel de sofisticación, se podrá requerir de un técnico para efectuar varias funciones, o bien, un grupo de técnicos para cada función.

I.5 BENEFICIOS DE UN FMS

Son muchos los beneficios que puede obtener el usuario de los sistemas de manufactura flexible. Los cuales se identifican en dos grupos: problemas cotidianos por paros en planta; y requerimientos a largo plazo que afectan los planes y costos de producción. Los cuales se describen a continuación:

Problemas cotidianos por paros en planta, como son:

- Cambios en ingeniería y en los procesos.
- Maquinaria inhabilitada.
- Rupturas de herramientas de corte.

Requerimientos a largo plazo que afectan los planes y costos de producción, como:

- Cambios en los volúmenes de producción.
- Variantes en piezas y productos.
- Incorporación de nuevos productos.

A continuación se presenta una breve explicación de como los sistemas de manufactura flexible responden ante esta problemática:

Cambios en ingeniería y en los procesos: La flexibilidad inherente de los sistemas flexibles de manufactura, permite ajustar el sistema a las fluctuaciones del mercado, lo cual puede requerir cambios importantes tanto en ingeniería como en los procesos.

Esta flexibilidad, se debe en gran parte, al uso de equipos de control numérico. Los procesos son programados, utilizando principalmente las

herramientas que proporcionan los sistemas CAM¹ y CAD², definiendo la secuencia de los procesos a través de los diferentes equipos. Por ejemplo, cuando una pieza o producto requiere un determinado proceso, el programa que contiene esta información, es alimentado en la unidad de control para realizar la operación.

Cualquier alteración en la secuencia y/o características del proceso, sólo requerirá que el programa sea ajustado de acuerdo a los cambios previstos y ocasionalmente se efectuaran cambios en el dispositivo de la maquinaria y equipo. Los programas que contienen las instrucciones de manufactura para diferentes partes o piezas, pueden ser almacenados, y cuando se necesiten, ser cargados al sistema. De esta manera, se ejecutan diversos programas de acuerdo a las necesidades globales del sistema de manufactura.

Maquinaria inhabilitada: Antes de que las piezas sean manufacturadas, son colocadas en los dispositivos de transporte y manejo de materiales, los cuales realizan la distribución a través del sistema. Las piezas están en fila en la maquinaria y esperan ser atendidas. Si una máquina interrumpe su funcionamiento, el sistema lo detecta, e inmediatamente ajusta la secuencia del proceso de acuerdo a la disponibilidad de las máquinas. Esta habilidad de los sistemas de manufactura flexible permite optimar el uso de la maquinaria y equipo, lo que trae consigo beneficios operativos y económicos.

¹CAM (Computer Aided Manufacturing) Manufactura Asistida por Computadora.- Utilización efectiva de la computación en la administración, control y operación de los elementos de manufactura a través del uso directo e indirecto de interfaces de computadora con los recursos físicos y humanos de la empresa.

²CAD (Computer Aided Design) Diseño Asistido por Computadora.- Uso de computadoras y sistemas gráficos para automatizar las tareas de desarrollo y diseño en ingeniería.

Rupturas de herramientas de corte: En el caso de una herramienta ó un herramental averiado, los sensores de la maquinaria detectan el desperfecto y la interrupción de la máquina, mientras tanto, la computadora de control determina las acciones para reparar los instrumentos o herramientas y/o reemplazarlas. Si es necesario, el sistema de control reestructurará la llegada de las piezas.

Cambio en los volúmenes de producción: Con una planeación correcta de un sistema de manufactura flexible es posible incorporar nuevas estaciones de trabajo que respondan a los incrementos de los volúmenes de producción.

Variantes en piezas y productos: En un FMS es posible agrupar las variantes de las piezas y productos en "familias" de acuerdo a ciertas características, como son: forma, tamaño, peso, o por los pasos de procesamiento, o por compatibilidad de materia prima. Lo que permite que el sistema identifique la secuencia de proceso por familia de piezas.

Incorporación de nuevos productos: La introducción de nuevos productos en el sistema no presentaran ningún problema, ya que el sistema identifica los elementos del producto y los agrupa dentro de alguna familia de piezas. Sólo resta modificar el programa y ajustarlo a los requerimientos del nuevo producto.

Analizando los puntos anteriores, podemos concluir que los beneficios que brinda un FMS al usuario se reflejan principalmente en los siguientes aspectos:

- La operación de la maquinaria y equipo puede ser realizada parcial o totalmente por equipo electrónico neumático o hidráulico, lo que permite menor uso de mano de obra especializada en los procesos de manufactura; también se reduce la manipulación de los materiales en forma manual.
- Se logra optimar el uso de la maquinaria y equipo, reduciendo los tiempos de máquina, evitando los tiempos muertos que se originan por desajustes y fallas. Por otro lado, permite con mayor rapidez, adaptar al sistema a las nuevas operaciones de manufactura que se requieran.
- Permite un mejor y mayor control de las variables de manufactura, como son: cambios y reemplazos de herramientas, temperatura de las máquinas, circuitos de líquido enfriador, etc.. También, se optimiza el control de las variables que intervienen en la manipulación de los materiales. Las técnicas de simulación por computadora permiten una mejor evaluación del funcionamiento del sistema, ayudando directamente a la determinación eficiente de los planes de producción, en general, el uso, manejo e interpretación de la información que maneja el sistema de manufactura, facilita la toma de decisiones a nivel operacional o gerencial.
- Por el uso efectivo de la maquinaria y equipo, se reducen los inventarios de materiales y productos en proceso. Existe una reducción considerable del tiempo que el producto pasa en el proceso. Esto permite que a los sistemas de manufactura flexible se les pueda incorporar con

gran facilidad los conceptos del "Justo a Tiempo" (JIT¹). Uno de los objetivos esenciales del JIT es guardar niveles mínimos de inventario, y de esta manera, reducir la inversión de capital en inventarios no deseados.

La conjunción de los aspectos antes mencionados, hacen posible que los sistemas de manufactura flexible alcancen su objetivo de incrementar la productividad de la empresa, respondiendo oportunamente a los cambios que demande el mercado.

No todos los sistemas de manufactura flexible proveen el mismo grado de flexibilidad y complejidad, por lo tanto, los beneficios potenciales que se pueden obtener de su uso, varían de un sistema a otro.

Otra manera de enfocar los beneficios de un sistema de manufactura flexible es analizando el impacto que causa su uso en los siguientes aspectos:

- Mano de Obra
- Ingeniería del Producto
- Ingeniería de Proceso
- Calidad
- Inventarios

¹JIT (Just In Time).- Conjunto de técnicas administrativas, orientadas a la racionalización y optimización de los procesos de manufactura.

Mano de Obra

Si bien el objetivo principal de la manufactura flexible no es la reducción de la mano de obra, también es cierto que la automatización que incorpora lleva implícito el concepto de manufactura desatendida, por tanto, conlleva un fuerte impacto sobre la mano de obra. Este impacto lo podemos analizar desde diferentes puntos de vista:

- Evolución del nivel de empleo
- Cualificación del personal
- Condiciones de los puestos de trabajo
- Motivación del personal

Evolución del nivel de empleo

Las funciones a desarrollar por el hombre en un sistema de manufactura flexible son:

- Dirección del taller con responsabilidad sobre cantidad, calidad, así como plazo de entrega y costo de la producción. Mantenimiento de máquinas e instalaciones en todos sus aspectos: mecánico, hidráulico, electrónico e informático.
- Reposición de herramientas y herramientas. Control, recuperación y afilado de las usadas y acopio de las nuevas. Control de flujo de herramientas.
- Fijación de las piezas en las unidades de maquinado, si así se requiere.

- Carga y descarga de materiales en recepción, almacenes o pie de línea.
- Supervisión del funcionamiento de la instalación y resolución de los imprevistos. Rotura de herramientas, piezas defectuosas, materiales deficientes, averías, etc.

Además de estos puestos de trabajo que son de apoyo al funcionamiento de la instalación, se requieren cubrir funciones de preparación y planificación en las oficinas de ingeniería del proceso, ingeniería industrial y de planificación y control de producción. Técnicos en mecanización, especialmente en control numérico, en automatización, en robótica, en electrónica e informática y en tecnologías de planificación y programación de la planta.

Si comparamos esta relación de funciones y puestos de trabajo con los habituales en una fábrica convencional obtenemos como resultado:

- a) Prácticamente, la desaparición de los puestos de trabajo directo en las máquinas. El operario que pone a punto la carga y descarga de piezas y herramientas, regula la máquina y controla la producción a pie de máquina o grupo de máquinas, es sustituido por un complejo sistema automático.
- b) La disminución de puestos de trabajo indirecto de apoyo a la producción: almacenes, carretilleros, verificadores, etc., en un grado muy variable

dependiendo del nivel de automatización de almacenes, transportes e inspección.

c) El aumento de personal en funciones de mantenimiento, supervisión y vigilancia de los procesos productivos.

d) Un incremento del personal técnico en oficinas de preparación y planificación, especialmente en los periodos de estudio e implantación del sistema.

En suma, se obtiene una considerable disminución de necesidades de mano de obra para un mismo nivel de producción.

Cualificación del personal

Los puestos de trabajo creados con el sistema flexible de manufactura, respecto a un hipotético nivel medio de cualificación de la mano de obra en un sistema de manufactura convencional, representan en la administración, por un lado, una serie de puestos de baja cualificación: carga y descarga, fijación de piezas, vigilancia de máquinas e instalaciones y otra serie de puestos de elevada cualificación técnica de mantenimiento, en la administración informática y en tecnologías de punta.

Por tanto, se requiere de un plan importante de cambio que afectará básicamente a los operarios calificados y al primer nivel de mando en planta.

Condiciones de los puestos de trabajo

La automatización presenta una evidente mejora desde el punto de vista de condiciones ambientales, físicas y sociológicas de los puestos de trabajo; en general; las primeras partes que se requieren automatizar en una fábrica son las correspondientes a trabajos repetitivos o peligrosos para el hombre, tales como: procesos de soldadura, pintura, carga y descarga de hornos, desbarbados. Estas actividades, ya en muchos casos, se realizan por medio de autómatas o robots. Los esfuerzos físicos en la manipulación de materiales desaparecen totalmente. Los turnos de trabajo en horas no habituales, turnos de noche, festivos, etc., son los primeros en quedar desatendidos.

El sistema ofrece, por otro lado, puestos de un rico contenido tecnológico y creativo; sin embargo, presenta también puntos negativos: trabajos en solitario de vigilancia y control, tareas muy repetitivas y aburridas de carga y descarga, de fijación de piezas etc., trabajo sedentario de horas y horas ante terminales informáticas con una exigencia de atención constante.

Motivación del personal

La introducción de la manufactura flexible afecta profundamente a la plantilla de una empresa; sin embargo, en la situación económica-industrial del momento, en que las nuevas tecnologías no se introducen precisamente para ampliar la capacidad de producción, sino como elemento de supervivencia en un mercado competitivo y sobresaturado. Estas crearán, por tanto, problemas de regulación de empleo, en general con disminución de plantilla y dificultades en las relaciones laborales.

Por otro lado, la implantación con éxito de la manufactura flexible depende fundamentalmente de la capacidad de integración, motivación y colaboración activa del equipo humano con los nuevos sistemas. ¿Cómo conseguirlo?, las experiencias efectuadas hasta la fecha inciden en dos puntos:

- Ampliar información a todos los niveles.
- Planes intensivos de formación.

Destaca en primer lugar que la fabricación desatendida, a nivel global, es un objetivo que quizás sea realidad a largo plazo. Con la tecnología actual sólo se consiguen, dentro de un nivel de rentabilidad industrial, islas de fabricación desatendida dentro del conjunto de la empresa.

La manufactura flexible no puede implantarse en forma inmediata, requiere de un plazo largo, años de evolución, a partir de unas primeras experiencias en maquinados con control numérico y con un proceso de implantación escalonado, bajo un nivel de automatización y desatención creciente. Hay tiempo suficiente para llevar a cabo los programas de formación, cambio y flexibilización necesarios para adaptar parte de la plantilla a los nuevos puestos.

En suma, la adopción de la manufactura flexible no es un objetivo en sí, sino sólo un medio para conseguir la permanencia de la empresa en una competencia internacional que en su conjunto, ve en la utilización de estas tecnologías la forma más eficaz de obtener los niveles de productividad que se requieren.

La evolución hacia la manufactura flexible, con todos sus problemas, no es un capricho de la dirección, sino un intento serio, por el costo que representa, de actualización de los medios productivos para conseguir y mejorar los niveles de productividad hasta alcanzar e incluso superar a la competencia y de esta manera asegurar la supervivencia de la empresa.

Por el contrario, y según revelan recientes estadísticas, la mayoría de los empleados creen que deben pararse los procesos de automatización y robotización de la industria, mientras que sólo un porcentaje muy pequeño opina que deben acelerarse.

Ante esta posición, es necesario tener una política de motivación y participación activa del personal en los planes de implantación del sistema flexible de manufactura para que se integre en el mismo y no se sienta excluido de entrada.

La manufactura flexible se inició en Japón y es donde más desarrollo y éxito se ha conseguido. Se caracteriza por relaciones laborales con una integración empleado-empresa mucho más alta que en Occidente, además de ello, han desarrollado técnicas específicas para aumentar la integración y participación activa del empleado en la mejora de su trabajo y en la productividad general de la empresa.

La Ingeniería del Producto

Previo a la ingeniería del producto, la implantación de la manufactura flexible supone gran carga de trabajo. Suponiendo que se ha adaptado la técnica de diseño modular, el sistema de manufactura flexible requiere:

- **Normalización de componentes.**
- **Simplificación de los procesos de manufactura y montaje.**

La normalización de componentes significa, por un lado, la reducción de variantes de piezas, y de los elementos y herramientas necesarias para su fabricación. La tecnología de grupos es una buena herramienta para conseguirlo, y más aún, si se utiliza conjuntamente con el diseño asistido por computadora.

La simplificación de proceso de manufactura y montaje significa entrar en la mentalidad de "diseño para fabricación", un trabajo codo a codo con la ingeniería de proceso para eliminar todo obstáculo en el flujo de las operaciones en el taller. Un buen diseño desde este punto de vista, permitirá unas instalaciones menos sofisticadas, más sencillas y por tanto, con mucha mayor garantía de funcionamiento ininterrumpido.

La Ingeniería de Proceso

La ingeniería de proceso en un sistema de manufactura flexible se parece muy poco a la de un sistema convencional; el trabajo de puesta en marcha de un FMS es inmenso y conlleva a varias funciones importantes:

- 1) **Revisión de todos los ciclos de operaciones para adaptarlos, por un lado a las nuevas máquinas, por otro a los nuevos sistemas que exige la flexibilidad de las estaciones de trabajo que recogen la existencia de máquinas y secuencia alternativas como norma no como excepción.**

- 2) Planificación de los puestos de trabajo, zonas de carga y descarga, almacenes, transporte, definición de manipuladores y robots.
- 3) Inclusión en el proceso de operaciones de inspección y control, y de estaciones de verificación automática.
- 4) Programación de máquinas herramientas, elementos de mantenimiento y transporte y, en general, de todo sistema de control de la planta.

También la revisión de herramientas, fijaciones y elementos para normalización y para conseguir reducir al mínimo los tiempos de cambio de pieza y cambio de herramienta, lo que implica muchas veces el rediseño de gran número de elementos de manufactura; así se reducen los tiempos muertos y, por tanto, los cortes fijos de maquinado de piezas con lo que se reduce el lote económico de fabricación - objetivo: lote de una pieza.

La Calidad

Los sistemas de manufactura flexible buscan un elevado nivel de calidad del producto y de su fabricación; así los servicios de calidad toman una nueva orientación, no se trata de descubrir piezas malas sino de evitar que se produzcan.

Se aplican una serie de técnicas para llevar la calidad al puesto de trabajo, y dado que se quiere el trabajo bien hecho a la primera, se considera:

- Colocar los medios de inspección en el mismo puesto de trabajo, autocorrigiendo las desviaciones o tendencias que se detectan en las mediciones.
- Hacer partícipe al personal de los problemas de calidad y su resolución.
- Establecer convenios de calidad con los proveedores para evitar la inspección de entrada, no sólo por el costo que representa sino también por la inseguridad en el suministro que suponen las partidas defectuosas.
- Montar puestos de inspección y prueba automática conectados al sistema de control general para una autocorrección de desviaciones en la manufactura.

Es decir, se toman todas las medidas posibles encaminadas a la consecución de procesos confiables dentro de los estándares de calidad exigida.

Los Inventarios

Con los sistemas de manufactura flexible se dispone de los medios necesarios para evitar los clásicos "pulmones" entre las distintas etapas de manufactura y ensamble. Puede progresarse en la política de inventarios cero.

Es muy conocida la comparación japonesa de nivel de inventarios con el nivel de agua en un canal: cuanto éste se llene de piedras y obstáculos el nivel sube y el agua fluye por encima; igual ocurre en las fábricas con el flujo

de producción si se acumulan problemas sin resolver, sube el nivel de inventario. El flujo de producción se cumple y nadie se preocupa de resolver los problemas con eficacia. Si alguien baja el nivel de agua, es decir, de los inventarios, el caudal se reduce, aparecen las piedras y se quitan rápidamente para recuperar el caudal necesario, así también, ocurre en producción, si algún problema dificulta el nivel de producción exigida, esta se resuelve con prontitud, bajando el nivel del canal, se va despejando de piedras hasta que se obtiene el mismo caudal con mucho menos nivel de agua.

En conclusión, la reducción del nivel de inventarios obliga a los responsables de producción a identificar los problemas y resolverlos eficazmente.

En contra de esta teoría, hay quien afirma que los problemas están y han estado siempre perfectamente identificados y resueltos lo más eficazmente posible, y que el inventario no es más que el procedimiento que permite asegurar una producción a pesar de los problemas que muchas veces no está en manos de la empresa resolver.

Sin entrar en teorías, que en cada caso en particular puede ser una realidad, lo que sí es cierto es que las grandes empresas japonesas han demostrado que se pueden obtener grandes producciones seriadas con unos índices de rotación de inventarios muy superiores a la de sus homólogos de Occidente. Con ello se han puesto de moda los sistemas Kan-Ban⁴ y JIT.

⁴Kan-ban.- Sistema japonés de administración de la producción. Se basa en el principio de "jalar" la producción, es decir, los procesos de producción deben de ponerse en marcha directamente por los requerimientos de la demanda del consumidor final.

En el sistema Kan-Ban la producción de piezas en talleres y el acopio de piezas de proveedores se realiza para cubrir las necesidades de manufactura de los productos, de acuerdo con los pedidos recibidos de los clientes; es decir, la demanda es la que jala las piezas de donde estén. En contrapartida, el método clásico del MRP⁵ aplicado a las previsiones de venta, es un sistema que empuja desde su inicio las piezas hasta el montaje para que se pueda cumplir el programa de previsión de ventas.

La diferencia entre previsión y realidad provoca inventarios de productos terminados, es decir, el inventario más caro. El Kan-Ban elimina este inventario de productos terminados y aplicado a todos los niveles de la estructura de producción, incluidos los proveedores, deja el inventario de materiales, aplicando la teoría al límite, en su estado natural; es decir, el hierro en la veta de pirita de la mina, la madera en el árbol, etc, y no se extrae hasta que es necesario.

La dificultad de este sistema está en que sólo se utiliza si los tiempos de respuesta son muy pequeños y la fabricación de pocas piezas es económica, pero ésta es, precisamente una de las principales ventajas de la manufactura flexible.

Inicialmente los sistemas Kan-Ban eran totalmente manuales; últimamente ya hay programas que los soportan, e incluso sistemas de administración híbridos entre el MRP y el Kan-Ban, que utilizan las ventajas de ambos

⁵ MRP (Materials Requirements Planning) Planeación de los Requerimientos de Materiales - Técnica de planeación, programación y control de las operaciones de producción. La programación de la producción y los requerimientos planeados se basan en las condiciones actuales de manufactura.
MRP II (Manufacturing Resources Planning) Planeación de los Recursos de Manufactura - Sistema integral de administración de los procesos de manufactura.

sistemas; como es la técnica del MRP para previsión y principios similares del Kan-Ban para ejecución.

Un concepto parecido al Kan-Ban, aplicado a toda la actividad empresarial es el JIT y es algo tan simple como hacer o producir sólo lo necesario en el momento preciso con el mínimo gasto; y con aplicaciones concretas en el área de inventarios, aprovisionamiento, transporte, calidad, producción, etc..

Junto a los sistemas de manufactura flexible se aplica un amplio abanico de tecnologías, todas ellas destinadas a aumentar la productividad de la empresa; estas tecnologías pueden aplicarse en mayor o menor grado, independientemente de la implantación de un FMS, produciendo por sí solas elevados rendimientos. Muchas de estas tecnologías implican inversión mínima, aunque quizás en algunos casos precisan de un gasto elevado en horas hombre.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

II.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

II.2 ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA.

II.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

II.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La mayoría de los expertos en el ramo de la manufactura, coinciden en que los factores que contribuyen a la competitividad de una empresa son: costo, calidad y disponibilidad. No obstante existe un cuarto factor fundamental que con frecuencia se olvida o no se considera obligatorio: *la flexibilidad*.

Nadie podrá negar que, desde siempre, las compañías manufactureras han tratado de obtener ventajas competitivas a través de la búsqueda sistemática de un menor costo de producción. En la década de los ochentas, la calidad se convirtió en la siguiente meta en torno a la cual las empresas más competitivas dirigieron su atención. Por otra parte, durante los primeros años de esta década los conceptos de disponibilidad y servicio al cliente se han ido incorporando con más fuerza a las empresas que se consideran de clase mundial (figura 2.1).

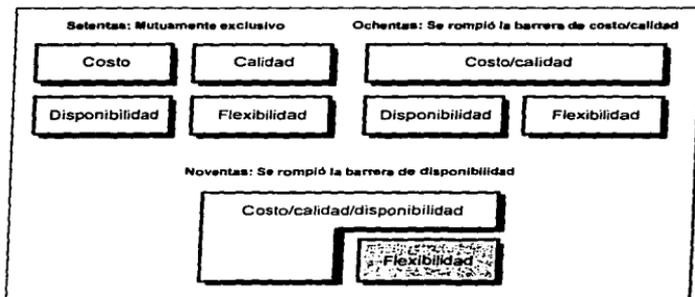


Figura 2.1 Paradigmas en el tiempo.

La flexibilidad en cambio ha sido el factor menos favorecido en los últimos 20 años, tal parece que quisiera preservarse el modelo de Henry Ford, base de la mayoría de los sistemas de producción de nuestra era y de nuestro continente.

En vez de la producción masiva estándar y estable la realidad actual exige plantas capaces de trabajar lotes cada vez más pequeños, con productos hechos bajo especificaciones de los clientes e insertos en un mercado impredecible.

Mientras en las plantas estadounidenses continúa la obsesión por mejorar los niveles de costo, calidad y disponibilidad, Japón registra un fortalecido movimiento para volver cada vez más flexibles sus plantas.

La flexibilidad en la manufactura puede definirse entonces como la habilidad de una empresa del sector para organizar y reorganizar sus recursos efectivamente, respondiendo a los cambios en las condiciones de su entorno.

Dado que la flexibilidad es una respuesta ante los cambios en las condiciones del entorno, es razonable definirla a través de clasificar y describir los tipos de variabilidad a los que una organización manufacturera debe responder (tabla 2.1).

Tipo de variabilidad	Formas de incertidumbre	Formas de complejidad
En la demanda	Fluctuaciones en: <ul style="list-style-type: none"> • Mezcla del producto. • Volumen. 	Número de partes. Nuevos materiales.
En la oferta	Cambios en las entregas: <ul style="list-style-type: none"> • Calidad. • Puntualidad. 	Número de proveedores. Número de materias primas.
En el producto	Nuevos productos. Cambios a los actuales.	Cantidad de productos. Opciones. Funcionalidad.
En el proceso	Cambios en el proceso: <ul style="list-style-type: none"> • Tecnológicos. • Organizacionales. 	Integración de tecnologías. Asimilación de tecnologías.
En los recursos	Ausentismo. Rotación. Disponibilidad de equipo.	Incertidumbre. Factor humano.

Tabla 2.1 Tipos de variabilidad de los sistemas de producción.

Cada tipo de variabilidad exige tener al menos una respuesta dentro de la organización que dé flexibilidad para atender exitosamente la complejidad que este esquema presenta a la gerencia de manufactura. La variedad y la complejidad enfrentan el clásico dilema entre producción y ventas; si bien la variedad es una virtud para la mercadotecnia, también representa un vicio para los miembros del equipo de producción.

Es sabido que la preferencia de los clientes por seguir comprando los productos depende entre otras cosas, de la diversidad de opciones disponibles, lo que provoca que el área de mercadotecnia vea en la variedad uno de sus principales objetivos.

Para la planta la variedad es sinónimo de complejidad; producir bajo un entorno variable resulta uno de los retos más difíciles de administrar para los fabricantes; implica muchos productos en proceso en cualquier momento, cambios continuos en la demanda y, por consiguiente, un ir y venir sobre los planes de producción inocentemente "congelados" al principio de cada mes. A ello hay que agregar el correspondiente impacto por cambios en los requerimientos de materias primas, mano de obra y utilización de la maquinaria, por mencionar tan solo los aspectos más afectados.

En general podemos decir que el éxito competitivo de la empresa, como un todo, es consecuencia directa del rendimiento superior de los sistemas de manufactura con respecto a la competencia.

Los productos tienen una especificación más próxima a las necesidades del cliente que los de cualquier competidor, están hechos y llegan al cliente "libres de errores", poseen tiempos de entrega que ningún competidor puede igualar, y siempre cuando fueron prometidos. Además, los sistemas de manufactura tiene la función de cambiar su paso, de adaptarse al medio ambiente a medida que éste cambia.

II.2 ELEMENTOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha suscitado un cambio de orientación de las políticas y sistemas de la producción industrial, pasando de estar centrada en el producto en una economía de escala, a considerar el proceso como base de una producción en una economía de ámbito, se entiende por economía de ámbito, al entorno comercial y de mercado que rodea a la empresa.

El estudio de las variaciones en las características del entorno industrial revela la profundidad de amplitud del cambio que se está desarrollando en todo el entorno productivo y en todo tipo de industria hasta el punto de que los centros modernos de producción son totalmente distintos de los convencionales, tanto en instalaciones como en organización y métodos de trabajo.

- Productos con ciclos de vida cortos.
- Gran variedad de líneas de productos.
- Productos a la medida del cliente.
- Demanda de calidad y confiabilidad.
- Productos de nueva tecnología.
- Nuevos usuarios y mayor variedad de clientes
- Menor fidelidad de los clientes.
- Clientes más sofisticados.
- Globalización de la producción, distribución, mercados, competencia e innovación.

Tabla 2.2 Características del mercado actual.

El mercado se caracteriza por una disminución en su crecimiento, una diversificación del producto para adaptarse a necesidades específicas de los clientes, una mayor exigencia de calidad y una competencia globalizada. Los clientes son cada día más exigentes y basan sus decisiones de compra en elaborados estudios de rentabilidad sobre las distintas opciones que se les presentan.

Sistemas de Manufactura Tradicionales	Sistemas de Manufactura Modernos
<ul style="list-style-type: none"> • Variedad limitada de productos. • Diseños de larga vida para los productos. • Grandes naves industriales. • Plantas centralizadas. • Inventarios intermedios entre procesos. • Procesos por lotes. • Flujos regulares. • Producción fija. • Inspección de calidad. • Trabajo atendido. • Concentración como concepto organizacional. • Administración con información clasificada. • Economía de escala. • Costos variables. • Mano de obra intensiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran variedad de línea de productos. • Rápido cambio en el diseño de los productos. • Naves industriales menores. • Plantas descentralizadas. • Inventarios cero. • Procesos continuos. • Flujos irregulares. • Producción bajo demanda. • Aseguramiento de la calidad. • Trabajo desatendido. • Plantas multifuncionales. • Administración con información intensiva. • Economía de ámbito. • Costos globales. • Capital intensivo.

Tabla 2.3 Evolución de las características de los sistemas de producción para adaptarse a las condiciones del entorno actual.

Los productos ofrecen cada día más y mejores cualidades, una amplia gama de variantes para adaptarse a los gustos y necesidades de los clientes, una **garantía de calidad "ceros defectos"** y un ciclo de vida corto debido a las constantes incorporaciones de nuevas y sofisticadas tecnologías.

Los recursos necesarios, ya sean materiales, energía, capital o mano de obra, **sufren un constante encarecimiento**. Las nuevas tecnologías, especialmente la microelectrónica, la automatización, técnicas de control, nuevos materiales e informática, incorporadas al proceso productivo, **permiten nuevos enfoques a la resolución de los problemas de manufactura**.

Planteamiento Tradicional de las Políticas de Manufactura

Las fábricas convencionales, diseñadas para elaborar un producto estándar en gran serie, se encuentran por un lado, con exceso de capacidad productiva por encima del nivel de demanda y, por otro, con la imposibilidad de atender las peticiones de variantes del producto estándar a unos costos razonables. El cumplimiento de los nuevos niveles de calidad que exige el cliente sólo pueden conseguirlo a unos costos muy elevados; además, no pueden reaccionar con la agilidad necesaria a las innovaciones del producto.

Los típicos comentarios de mercadotecnia que surgen son:

- "Porque no tenemos nunca en inventario el producto solicitado".
- "Nuestros tiempos de respuesta son demasiado largos".
- "Nuestros costos no son competitivos".
- "Porque no mejora la calidad de nuestro producto".

- "Necesitamos un producto nuevo.
- "No tenemos suficiente mezcla de modelos y/o tipos, etc."
- "Costos de los servicios post-venta demasiado altos".

Estas reflexiones son fruto de una realidad de mercado y se encuentran con los típicos comentarios de producción, consecuencia de la realidad de los métodos y equipos de fabricación:

- ¿Por qué no hay buenos pronósticos de ventas?.
- Necesitamos programas fijos que no cambien.
- Una mezcla amplia provoca series cortas y no rentables.
- No se puede tener existencias de todo en el almacén.
- Es imposible introducir tantas modificaciones del producto.
- Se utilizan los productos para trabajos inadecuados.

El resultado de la divergencia entre: ventas - producción se traduce en excesos de inventarios cada día más obsoletos, equipo industrial semiutilizado, reducción de los puestos de trabajo y, en consecuencia, disminución de beneficios e incluso pérdidas.

Esta problemática se puede describir con dos palabras: crisis y reconversión. Es decir, modificación de la política y estrategia industrial para adecuar el producto y flexibilizar la producción, adaptarse a las variaciones del mercado y los deseos de los clientes y, al mismo tiempo, conseguirlo a unos costos competitivos.

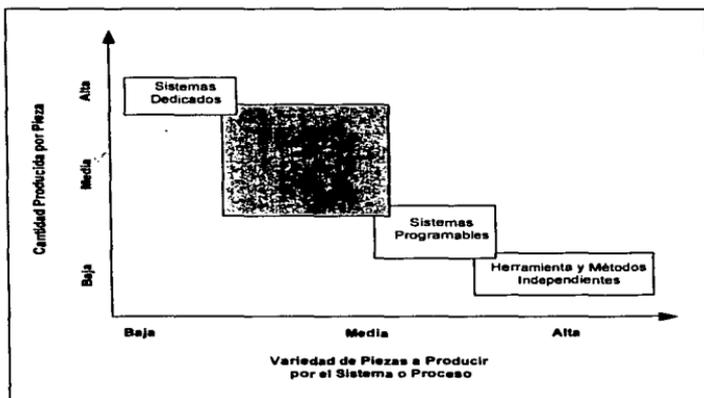
Planteamiento Actual de las Políticas de Manufactura

Para conseguir la rentabilidad de las empresas en las actuales condiciones del mercado las políticas de producción se orientan según los siguientes criterios:

- **Flexibilidad del producto y de los procesos de producción.**
- **Calidad y fiabilidad del producto.**
- **Predecibilidad y confiabilidad del proceso**
- **Integración del producto, proceso y organización.**
- **Reducción de tiempos de respuesta para el lanzamiento de nuevos productos.**
- **Eliminación del gasto no estrictamente necesario.**
- **Reducción de los tiempos de preparación y de espera.**
- **Automatización de los procesos.**
- **Aumento de la productividad global.**

La flexibilidad del producto se logra mediante técnicas de diseño modular, en donde el producto terminado se obtiene a partir del ensamble de una gran variedad de productos; un ejemplo clásico son los nuevos modelos de automóviles; en un mismo modelo se ofrecen varios tipos de motores, distintas clases de transmisiones, carrocerías diferentes e innumerable cantidad de opciones, todo dentro de un mismo nivel de precios.

Para flexibilizar el proceso, se reducen al mínimo los tiempos de preparación de máquina; se automatizan almacenes, transportes, mantenimiento de máquinas y se flexibiliza la mano de obra con una mayor formación y funcionalidad.



Gráfica 2.1 Flexibilidad vs. capacidad de producción.

Se desplaza la inspección de calidad al puesto de trabajo dentro de una política de "trabajo bien hecho". Se aumenta el nivel de inspección al 100% en parámetros críticos.

Para aumentar la predecibilidad y confiabilidad del proceso se utilizan sistemas de control predictivo y adaptativo.

Se eliminan barreras funcionales entre mercadotecnia, diseño del producto y fabricación, creando grupos de trabajo conjuntos. Se diseña pensando en la manufactura, es decir, para simplificar al máximo el proceso productivo.

Se implantan técnicas de CAD CAM para reducir tiempos de diseño y de planificación de nuevos procesos.

Se utilizan técnicas de análisis estructurado para detectar gastos que no añaden valor al producto, paros, esperas, tiempos muertos, inventarios excesivos, etc..

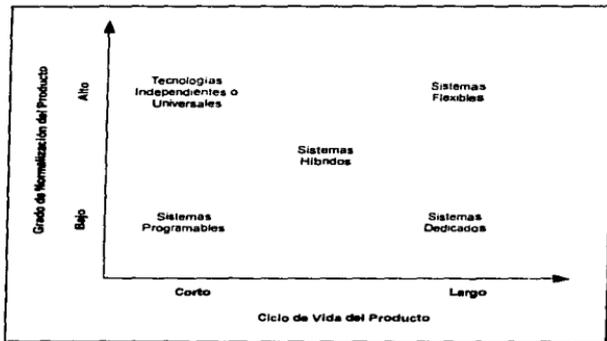
No se produce contra inventario para equilibrar cadenas de producción, sino que, al disponer tiempos de respuesta rápidos se fabrica bajo pedido. Se usan las técnicas del JIT, es decir, disponer de materiales y piezas correctas en cantidad y tipo en el momento y en el lugar preciso.

El estudio de los procesos de manufactura junto con la normalización de métodos, herramientas y herramientas, utilización de acoplamientos rápidos y automatización de todas las operaciones, proporciona una drástica disminución de los tiempos de preparación y espera.

La disminución de la participación de la mano de obra, junto con la disminución de gastos y aumento de la utilización de los equipos, proporcionan las tasas de productividad necesarias para mantener unos costos competitivos en un producto con características y calidad adecuadas y una amplia gama de variantes.

La integración de las técnicas antes mencionadas producen un cambio positivo en las características de lo sistemas productivos, así, las grandes fábricas centralizadas se transforman en fábricas de menor tamaño y descentralizadas.

De las cadenas de producción equilibradas, fabricando lotes regulares, con inventarios intermedios de regulación, se pasa a la fabricación continua de piezas con flujo irregular, sin inventarios intermedios y producción bajo demanda.



Gráfica 2.2 Ciclo de vida vs. normalización del producto.

El diseño evoluciona de productos estándares con larga vida y muy pocos cambios a productos con constantes cambios y gran variedad de oferta; del enriquecimiento del puesto de trabajo se pasa a la fabricación desatendida, sin necesidad de operarios al pie de las máquinas. El objetivo de calidad total sustituye a los métodos clásicos de inspección de calidad.

La administración de información por excepción, queda desplazada por la administración por análisis de la información intensiva que facilitan los medios informáticos instalados por cualquier parte.

En consecuencia las características operativas de las nuevas fábricas pasan a ser las siguientes:

- La cantidad de lote económico se aproxima a la unidad.
- La dispersión y variedad de la gama del producto no está penalizada por costos extras en la etapa de producción.
- Los costos de mano de obra directa disminuyen hasta casi desaparecer; de esta manera los costos totales son muy sensibles al volumen global de producción, dentro de una economía de costos conjuntos.
- Operación sin personal directo y sin inventarios reguladores.
- Actividades amplias y costosas de pre-producción.
- Respuesta rápida a los cambios de diseño y a la demanda de mercado.
- Elevados niveles de precisión, fiabilidad y calidad.

Todas estas características se engloban dentro del término de manufactura flexible.

II.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La mayoría de las empresas señalan al mercado y a la competencia como las fuerzas que propician la implementación de los sistemas flexibles de manufactura; este motivo se manifiesta en muchas formas, desde la inserción en nuevos mercados hasta la fabricación de nuevos productos; reaccionan ante la competencia con el ofrecimiento de tiempos de entrega más cortos, incremento de calidad, flexibilidad en el volumen y mezcla de productos y capacidad de ofrecer productos adaptados a las necesidades del cliente.

Con cualquier innovación tecnológica, es difícil encontrar un único motivo para tomar la decisión de invertir, ciertamente la presión del ambiente manufacturero que se ha venido dando en la presente década, es diferente a la de otros tiempos, poniendo énfasis en la flexibilidad como una meta estratégica. La problemática del mercado y de la competencia sustentan la mayoría de las decisiones de inversión en nuevas tecnologías.

Las típicas respuestas ante esta situación implica la necesidad de actuar frente a la creciente amenaza que representa la competencia, mediante la modernización de los procedimientos, lo que implica los siguientes aspectos: disminución de costos, incremento en los estándares de calidad, reducción en los tiempos de entrega, mayor disponibilidad y variedad de productos, mayor rapidez en la inserción de nuevos productos en el mercado, etc..

Los precios dependen en gran parte del uso eficiente de los recursos, así también el ahorro en costos suscitados por el uso de nuevas tecnologías de manufactura y la capacidad de minimizar inventarios.

Los motivos de inversión en nuevas tecnologías no se deben guiar únicamente por la necesidad de defender o recuperar la participación en el mercado, sino también, descubrir otras oportunidades mediante el ofrecimiento de nuevos productos y/o un mejor servicio, o descubriendo nuevos mercados con nuevos productos.

Dentro de estos motivos generales de mercado y competencia existen motivos particulares como son:

- Incremento de la calidad.
- Habilidad de manejar fluctuaciones en volumen al producir en pequeños lotes.
- Ofrecer mayor mezcla de productos, reducir los tiempos de manufactura y entrega.
- Mejoramiento en los servicios al cliente.
- Mayor flexibilidad en la ruta de procesos.
- Evitar cuellos de botella.
- Actualización de equipos como parte de un plan a largo plazo.
- Mayor inversión para el prestigio de la compañía.

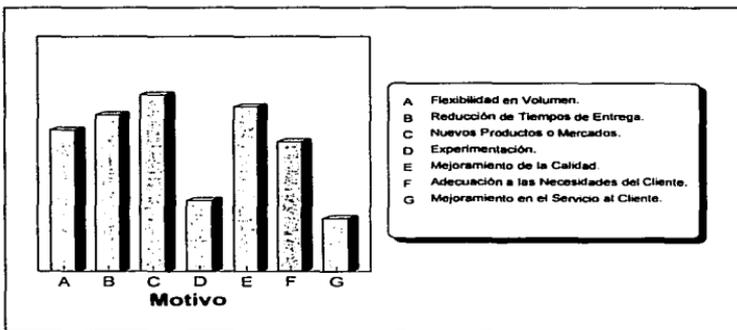
En muchos casos la experimentación era también explícita con compañías¹ que habían reconocido la necesidad de explorar nuevas tecnologías. La tabla 2.4 indica las razones más frecuentes para introducir un FMS.

¹Evaluación del Esquema de los Sistemas de Manufactura Flexible, reporte de la Escuela de Negocios de Brighton, Londres Inglaterra 1992.

- Nuevos productos o mercados.
- Mejoramiento de la calidad.
- Reducción de tiempos de entrega.
- Flexibilidad en volumen.
- Mayor adecuación a las necesidades del cliente.
- Experimentación.
- Mejoramiento en el servicio al cliente.
- Automatización de las operaciones complejas.
- Incremento en la flexibilidad del proceso.

Tabla 2.4 Motivos más frecuentes para introducir un FMS.

La gráfica 2.3 señala la tendencia que presentan estas razones en base a la competencia en los mercados. Cabe señalar que las compañías varían en el número de motivos para la aplicación de los FMS.



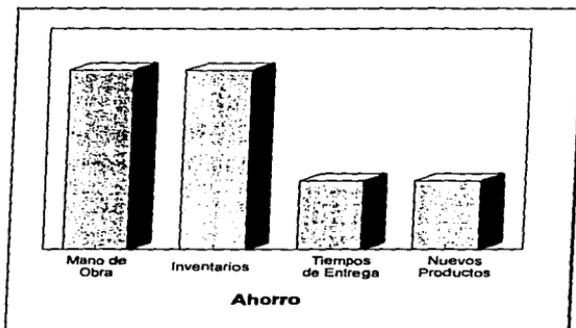
Gráfica 2.3 Principales motivos para adoptar un FMS.

Aunque las razones que motivan la inversión cubren un amplio rango de aspectos (generales y particulares), el patrón con la justificación actual es mucho más orientada. La mayoría de las empresas reportan justificaciones para inversiones basadas en otros ahorros de costo directo o en reducciones en el capital de trabajo, disminuyendo los almacenes, principalmente los de producto en proceso. Otras categorías incluyen ahorros en los costos de subcontratación, usando FMS el trabajo puede traerse de regreso a la empresa; reducción en los tiempos de entrega, mejorando el flujo de efectivo.

Para muchas empresas el FMS ha sido una liga para nuevos productos, regularmente acompañados por un mayor capital de inversión, en el cual, el FMS es sólo una parte con lo que la inversión fue justificada en las expectativas de ventas. Muchas empresas intentan justificar sus inversiones usando técnicas como el Valor Presente Neto (VPN), pero algunos han confesado las muchas reservas con las que se deben tomar estos indicadores.

Este técnica generalmente se ve como un ejercicio para obtener una idea de los costos y ahorros de mantener lo que se había visto como una inversión estratégica de largo plazo. Una consecuencia de esto es la necesidad de relacionar la inversión con alguna forma de ahorro tangible y cuantificable, tal como en la mano de obra y en los inventarios, principalmente (gráfica 2.4). Los proyectos se justifican mediante el ahorro directo en la mano de obra, lo cual es muy significativo, ya que estos ahorros no se presentaban anteriormente como factores clave. Se puede decir que las empresas están observando a los FMS como un medio para obtener metas estratégicas de

mayor flexibilidad y competitividad, pero están siendo forzadas por muchos requerimientos para justificar la inversión en base a diversos criterios.



Gráfica 2.4 Justificación de la inversión en un FMS.

Para muchas empresas la naturaleza estratégica de estas inversiones pone a un lado su retorno en el corto plazo, esto origina comentarios como "es un acto de fe".

Aunque los métodos tradicionales de inversión tienen la problemática de cuantificar los beneficios intangibles (ventaja estratégica en el mercado; mayor flexibilidad en la variedad de productos o adecuación a las necesidades del cliente), al incursionar en nuevos métodos se tiene cierta incertidumbre sobre los resultados que éstos arrojan.

Algunos ejemplos que muestran las ventajas que ofrecen los sistemas flexibles de manufactura son:

En 1990 NISSAN demostró lo lejos que había avanzado para lograr una flexibilidad a largo plazo en su ensamble de carrocerías: la mayoría de los fabricantes de autos NISSAN utilizan robots para soldar los paneles de carrocería, esto puede sonar como una tecnología bastante flexible para manejar los cambios en la forma y configuración del producto, y sí lo es, hasta cierto punto, pero también es preciso reconfigurar y reprogramar con frecuencia los robots, cada vez que se introduce un nuevo producto, además el desgaste mecánico de las partes hace menos precisos los robots a medida que envejecen, haciendo la reprogramación en sí misma una tarea menos directa. La nueva flexibilidad del producto no es tan fácil como debería, dado el paso cada vez más acelerado de los cambios del producto.

La manera como la empresa simplifica los cambios derivados de sus productos, es a través de un sistema inteligente de ensamble de carrocerías instalado en las plantas de Toshiki y Sama cerca de Tokio. El sistema consiste de alrededor de 50 estaciones de robots y 30 sensores en la parte de ensamble del proceso de producción. Se alinean y sueldan las 8 partes básicas de la carrocería antes de enviarla al siguiente proceso. La parte inteligente está en la unidad de control del sistema que utiliza la información obtenida del último ensamble como patrón de ajuste para el siguiente.

Quizá todavía más significativa sea la integración de todos los sistemas robotizados en un gran sistema de computadoras que no requiere reconfigurarse físicamente antes de comenzar un nuevo modelo. La maquinaria puede reprogramarse simplemente cambiando las instrucciones.

Reprogramar el ensamble de carrocería para un nuevo producto tomaba hasta once meses y costaba 4 billones de yens. Nissan dice que este sistema le permite hacerlo en la cuarta parte del tiempo y la tercera parte del costo, además el programa puede transferirse entre plantas permitiendo que la empresa decida con muy poca anticipación transferir la producción de una fábrica a otra.

De todos los aspectos de flexibilidad quizás la mejora más importante ha sido la reducción en los tiempos de ajuste y cambio de maquinaria para los diferentes procesos y productos con que cuentan los sistemas de manufactura modernos. Los siguientes son ejemplos típicos:

- GEC Electric Motors (Reino Unido), los ajustes y cambios en máquinas embobinadoras bajaron de 70 a 15 minutos.

- Andreas Stihl KS (Alemania), las prensas de estampado pesado en la fabricación de sierras de motor, redujeron el tiempo de ajuste y cambio de troqueles de 2 horas a 3 minutos.

- Podadoras de Césped Alco (Reino Unido), las partes giratorias y prensadas cuyos cambios bajaron un 65 % del tiempo original.

- Kodak (Australia), la tecnología de recubrimiento, los tiempos de cambio en líneas bajaron de 16 a 2 horas.

- Albion Pressed Metals (Reino Unido), una vez más el tiempo de ajustes y cambios en máquinas de prensa y cosechadoras bajó de 3 horas a 30 minutos.

- **NKK Aluminum Rolling (Japón)**, los tiempos en que se ajustan y se ponen a punto las máquinas de rolado en caliente bajaron de 2 horas a 10 minutos.
- **Cummins Diesel Engines (E.U.A.)**, la tecnología de corte de metal de varios tipos cuyos tiempos de ajustes y cambios bajaron un 85%.

No puede haber una industria o tecnología en la cual no sea posible un éxito similar (aunque procesos de manufactura son más o menos complejos que otros). ¿Y por qué la prisa para lograr estos niveles de flexibilidad de respuesta?. Por que es la base principal de las mejoras. Todas las empresas antes citadas reportan mejoras igualmente importantes en: tiempos de proceso, rotación de inventarios, costos de manufactura y utilización de espacios.

Como se ha expuesto, los sistemas de manufactura flexible conllevan grandes ventajas, una de las más importantes es que permite responder rápidamente a los constantes cambios en el entorno de los mercados debido a las variaciones en las necesidades de los clientes, sin incrementar los costos de operación, esto claro está, haciendo un adecuado empleo de la filosofía de un FMS.

Hay industrias que son tierra fértil en el desarrollo de un sistema de manufactura de este tipo, como lo es la industria de autopartes, en donde se suscitan las razones que fundamentan la inversión en nuevas tecnologías.

Basado en la investigación realizada, se ha seleccionado un proceso de manufactura en una empresa mexicana que se encuentra en el ramo de la industria de autopartes, Clevite de México S.A. de C.V., donde es idóneo el desarrollo de un sistema de manufactura flexible, así mismo se busca en todo momento mostrar las ventajas que ofrece un FMS contra un sistema de fabricación tradicional, para lo cual se realiza la investigación y desarrollo de un caso práctico en dicha empresa.

CAPITULO III

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

- III.1 DATOS GENERALES DE LA EMPRESA.**
 - III.2 ETAPAS DEL PROCESO.**
 - III.3 LISTA DE MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS.**
 - III.4 LISTA DE MATERIALES.**
 - III.5 RELACIÓN DE MANO DE OBRA DIRECTA.**
 - III.6 ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES.**
 - III.7 MANTENIMIENTO Y SERVICIO.**
 - III.8 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN.**
 - III.9 VOLÚMENES Y COSTOS DE PRODUCCIÓN.**
-
-

III.1 DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

Clevite de México, S.A. de C.V. -Clemex-, es una de las más importantes fábricas de cojinetes para motor, bujes y cejas. Sus productos son ampliamente vendidos a productores de equipo original y al mercado de repuesto, ambos para consumo nacional y para exportación.

Clevite de México, S.A. de C.V. fue fundada en 1959 por Clevite Corporation, E.U.A., para satisfacer la demanda de productos de gran diseño y alta calidad para el mercado de repuesto. En 1963 con estrictas normas de calidad, Clemex comenzó la producción de cojinetes para equipo original; después, en 1975, la compañía se asoció con Grupo Intercon como un accionista mayoritario, acatando la legislación mexicana. Acorde con el rápido crecimiento de la industria automotriz mexicana, una nueva planta se construyó en 1980, en el Parque Industrial de Lerma, Estado de México, con la más moderna tecnología disponible.

En 1991 el Grupo Intercon tomó el control total de la compañía y continuó el desarrollo de su propia tecnología, basada en 30 años de experiencia y un contrato de investigación y desarrollo tecnológico con la Universidad Nacional Autónoma de México.

Clemex ha sido reconocida como una compañía de alta calidad; ha recibido el premio Q-1 que otorga Ford Motor Co., el Yushu Shoh (premio de excelencia) y el Cero Defectos de Nissan Mexicana, y los Premios de Calidad de Tremec (el más grande fabricante de transmisiones manuales en Norteamérica). También se le ha otorgado el reconocimiento anual a la

Calidad de ANAMAPA (el AAPA de México). Hoy en día la compañía está trabajando en la documentación e implementación de la norma ISO-9000.

Clemex es un proveedor de importantes plantas de ensamble de equipo automotriz original tales como:

- **Ford Motor Co.**
- **Chrysler.**
- **General Motors.**
- **Mercedes Benz.**
- **TSP (DANA).**
- **Trece.**
- **Motores Perkins.**
- **Nissan.**

Para satisfacer la demanda del mercado de partes de repuesto, Clevite tiene una fuerza de ventas que cubre completamente el territorio nacional. Tiene soporte directo de la planta y un equipo experimentado que provee asistencia técnica, ofrece una amplia variedad de productos para servir al mercado de partes de repuesto en tiempo y con calidad excelente. Exporta directamente a Estados Unidos, Centroamérica, Sudamérica y Medio Oriente.

Clevite surte una gran variedad de cojinetes, bujes y arandelas de empuje a plantas armadoras de equipo original para el mercado independiente y de exportación, además fabrica diferentes tipos de materiales para varias aplicaciones, como por ejemplo, cobre-plomo trimetalico, el cual se usa en la

fabricación de equipo original e independiente. Este material proporciona el rango más alto de capacidad de carga con excelente duración, siendo ideal para cojinetes de biela y cigüeñal de motores de alto rendimiento.

La planta industrial de la empresa Clevite sujeta al desarrollo de esta investigación se encuentra localizada en el parque industrial de Lerma, Estado de México, figura 3.1. Una ventaja competitiva con la que cuenta esta empresa, estriba en que se ubica cerca de muchas plantas de producción de importantes compañías automotrices.

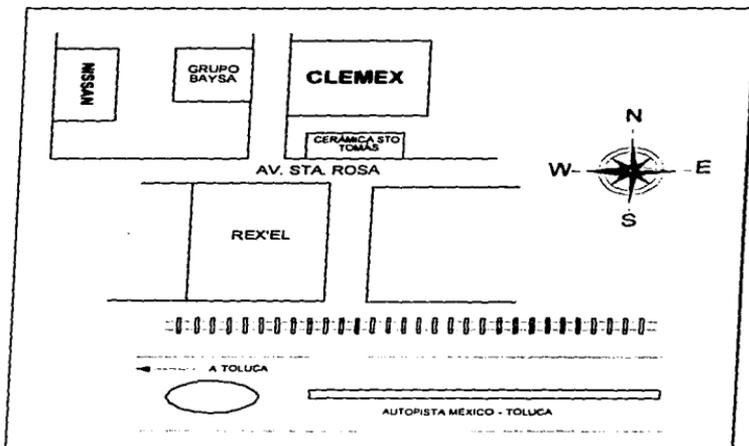


Figura 3.1 Localización de la empresa

La planta cuenta con un infraestructura de alta competitividad y cumple con los requerimientos de seguridad industrial y ecológica que señala la legislación.

La distribución general de la planta se describe en la figura 3.2:

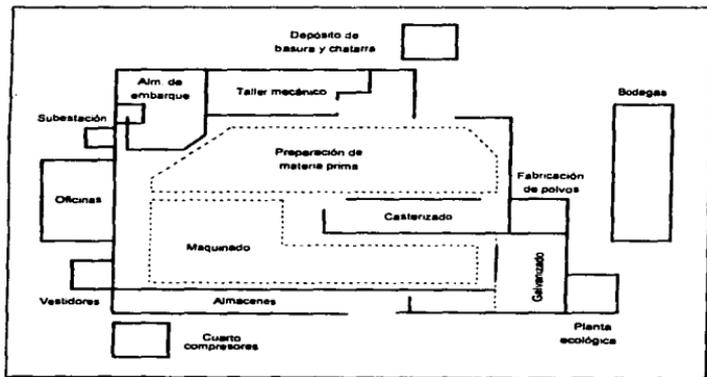


Figura 3.2 Croquis general de la empresa.

III.2 ETAPAS DEL PROCESO

El proceso que se analiza en esta investigación se restringe a la fabricación del cojinete recto de biela, desde la operación de corte de la materia prima, hasta la operación de rectificado del diámetro interior (aerobore).

Se seleccionó este producto ya que por su volumen de producción y demanda en el mercado es el de mayor importancia para la empresa, además, la fabricación de los otros productos requieren de operaciones muy similares.

Cada motor requiere un par de cojinetes por biela, un juego de cojinetes de biela contiene tanto pares como bielas tenga el motor, por ejemplo: si el motor tiene 6 bielas, se tendrán 6 pares de cojinetes, lo que implica que el juego de cojinetes para este tipo de motor cuente con 12 piezas.

Composición del cojinete

- 1.- Se utiliza cinta de acero de bajo carbono en la cual se aplica la aleación de polvo metálico de cobre-plomo. La cinta es horneada y compactada para adherir la aleación al respaldo de acero.
- 2.- Las aleaciones de cobre-plomo sinterizadas Clemex son similares en la composición química y generalmente resisten la misma carga que las aleaciones casterizadas.
- 3.- Para lograr el depósito de aleación plomo-estaño-cobre a la de cobre-plomo, es necesario incluir una capa intermedia de níquel (Nickel dam)

para prevenir migración de estaño desde el electrodepósito, el cual es un fenómeno metalúrgico natural.

- 4.- El electrodepósito de plomo-estaño-cobre usado por Clemex está compuesto por 90% de plomo, 9% de estaño y 1% de cobre aproximadamente. El espesor del depósito es de 0.0007" a 0.0010" para aplicaciones automotrices.

La manufactura de los cojinetes rectos para biela consta de las siguientes operaciones: corte/estampado, formado, chamfer y muesca, shaver y muesca, shaver y aerobore.

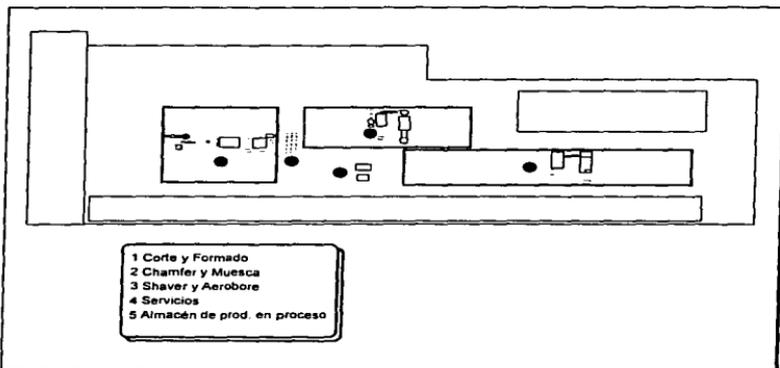


Figura 3.3 Línea típica del proceso.

Corte/Estampado

En esta operación se recibe la materia prima en forma de rollos de cinta sinterizada, la cual es colocada en un alimentador, donde un trabajador habilita y verifica el avance de la misma a la prensa, además la va marcando con tinta de color para identificar la bajomedida¹ que se está produciendo. El corte y estampado se hace en una prensa hidráulica, donde el encargado realiza las siguientes operaciones:

- Ajuste del estampador.
- Identificador de navaja.
- Ajuste de navajas.
- Identificación de cinta.
- Cambio y limpieza de cinta.
- Limpieza de rodillos.

Al final de esta operación se realiza la inspección de algunas piezas, donde se verifican las siguientes características:

1. Longitud de tira.
2. Ancho de tira.
3. Estampado.
4. Espesor total.
5. Espesor de acero.
6. Defectos visuales.

¹ Espesor de la cinta de acuerdo a su aplicación como equipo original o como refacción CLEMEX.

Como resultado de la actividad antes descrita se obtiene el corte de galleta, donde el operador en forma manual hace el traslado de un cierto número piezas para alimentar la siguiente operación (formado).

Formado

Esta operación se lleva a cabo en una prensa hidráulica donde se le da la forma de semicírculo al cojinete. El operario realiza las siguientes actividades:

- Selección de la herramienta de formado.
- Ajuste de herramental.
- Calibración del equipo de medición.

Al final de esta operación se realiza la inspección de algunas piezas, donde se verifican las siguientes características:

1. Paralelismo del acero y la aleación.
2. Altura de la línea de partición.
3. El asentamiento en el block.
4. Torcido.
5. Defectos visuales.

Como resultado de esta operación se obtiene el formado del cojinete, donde el operador en forma manual llena un contenedor de plástico con las piezas que se van obteniendo en esta etapa del proceso.

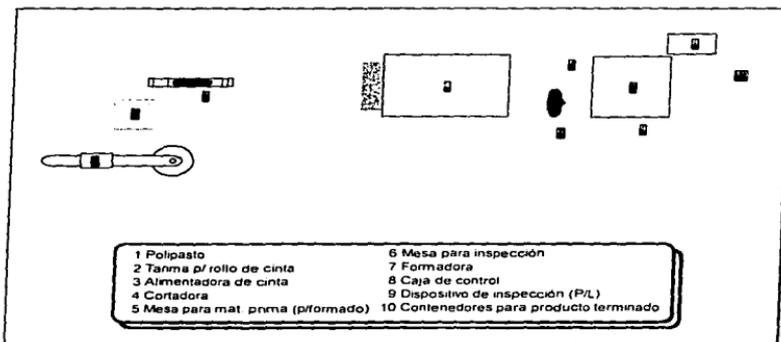


Figura 3.4 Línea típica de corte/estampado y formado.

Chamfer

Aquí se hacen los chaflanes interiores y exteriores del cojinete mediante el empleo de husillos. Las actividades que debe realizar el operador son:

- Ajuste de la herramienta de corte.
- Revisión de las herramientas de corte y reafilado.
- Calibración del equipo de medición.

En esta operación se emplea el control estadístico del proceso haciendo uso las de gráficas X-R, la altura total del cojinete es el parámetro a controlar que determina el desempeño del proceso. Otras características de la pieza que se someten a inspección son:

1. Chafanes interiores.
2. Chafanes exteriores.
3. Defectos visuales.

Las piezas que se obtienen de esta operación las coloca el operador de forma manual en un contenedor de plástico.

Muesca

Operación donde se emplea una prensa para hacer una deformación al material que da como resultado una saliente (muesca) en el cojinete. Las actividades que el operario debe realizar son:

- Ajuste de la herramienta.
- Ajuste del equipo de medición.

Para esta operación, el control estadístico del proceso se basa en la altura de la muesca. Otras características que se someten a inspección son:

1. Saliente de la muesca.
2. Ancho de muesca.
3. Longitud de muesca.
4. Defectos visuales.

El producto en proceso que resulta de esta operación se coloca en contenedores de plástico para llevarlo al almacén de producto en proceso.

Estando en dicho almacén, los cojinetes son llevados a un área donde se realiza un proceso de lavado utilizando percloroetileno frío y percloroetileno sucio, para después regresarlo al almacén de producto en proceso.

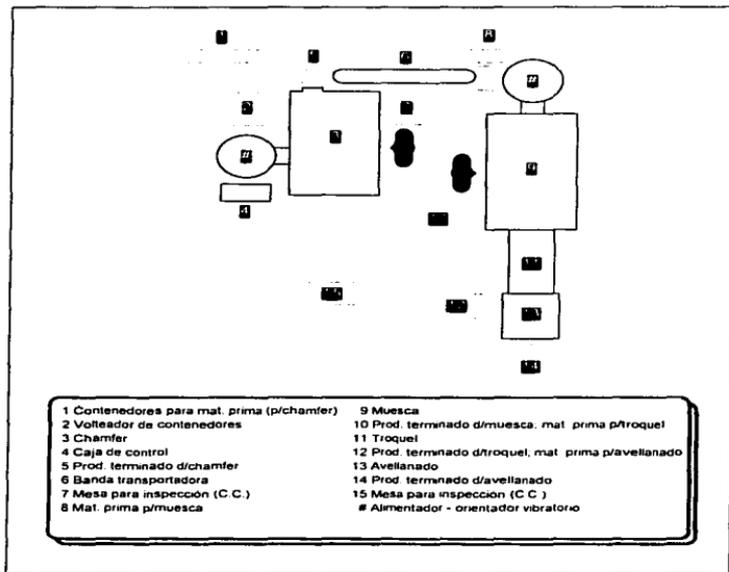


Figura 3.5 Línea típica de chamfer y muesca.

Shaver

Se realiza un rasurado de las caras del cojinete, así como chaffanes en ambos extremos de la pieza, para lograr la exactitud requerida en la línea de partición. Las actividades que realiza el operador en esta estación son las siguientes:

- **Ajuste de la herramienta de corte.**
- **Revisión de las herramientas de corte y reafilado.**
- **Calibración del equipo de medición.**
- **Calibración del gage de línea de separación (P.L.).**

En esta operación, la altura de la línea de separación es la variable que se somete al control estadístico del proceso. Otras características del producto que se someten a inspección son:

1. **Paralelismo.**
2. **Mecedora.**
3. **Dimensiones.**
4. **Chaffanes.**
5. **Defectos visuales.**

El producto en proceso que resulta de esta operación se recibe en un contenedor, de donde un operario toma los cojinetes en proceso, para alimentar manualmente a la máquina rectificadora que realizará la siguiente operación.

Aerobore

En esta operación se realiza la rectificación del diámetro interior del cojinete, obteniendo la excentricidad de la pieza y el relieve². Las actividades que realiza el operario son las siguientes:

- Ajuste de la herramienta de corte.
- Revisión de las herramientas de corte y reafilado.
- Calibración del equipo de medición.
- Calibración del gage de pared.

En este caso el espesor de pared es la dimensión que se monitoréa a través del control estadístico del proceso. Otras dimensiones del producto en proceso que se someten a inspección son:

1. Conicidad.
2. Excentricidad.
3. Relief.
4. Dimensiones.
5. Acabado micro.
6. Altura P.L..
7. Defectos visuales.

Después de esta operación, los cojinetes son llevados nuevamente al área de lavado, para posteriormente ser empacados y colocados en el almacén de producto terminado. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el estudio del proceso se limita hasta la operación de aerobore.

² Disminución del espesor (menor que la pared al centro).

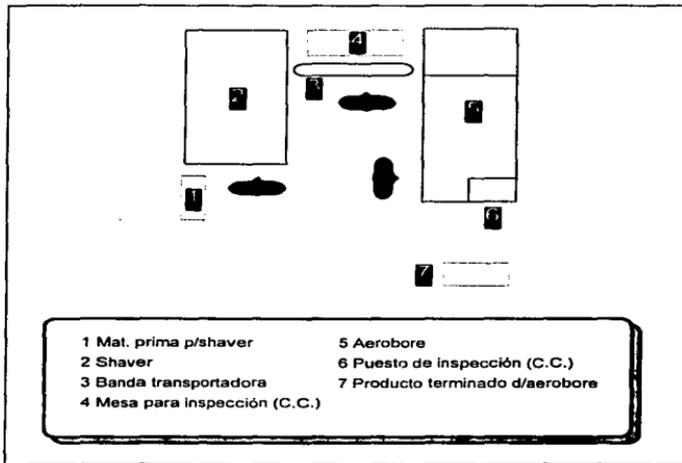


Figura 3.6 Línea típica de shaver y aerobore.

III.3 LISTA DE MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS

A continuación se presenta la lista de maquinaria, equipo y herramienta que intervienen en el proceso analizado.

Corte/Estampado y Formado

- Polipasto
- Alimentadora de cinta
- Prensa cortadora
- Mesa
- Prensa formadora
- Caja de control
- Contenedores

Chamfer Y Muesca

- Contenedores
- Volteador de contenedores
- Máquina chamfer
- Caja de control
- Banda transportadora
- Mesa
- Prensa de muesca
- Prensa de troquel
- Fresadora de avellanado
- Alimentador orientador vibratorio

Shaver Y Aerobore

- **Máquina rasuradora (shaver)**
- **Banda transportadora**
- **Mesa**
- **Rectificadora (aerobore).**
- **Contenedores**

Los equipos de medición empleados durante el proceso son:

- **Block patrón de alturas**
- **Block y master inspec. P. L.**
- **Comparador óptico**
- **Gage de diámetro libre**
- **Gage de altura de muesca**
- **Gage de altura P. L.**
- **Gage de dimensión libre**
- **Gage de saliente**
- **Gage neumático de espesores**
- **Juego Blocks patrón p/espesores**
- **Micrómetro 0-1" Puntas cónicas**
- **Ring gage**
- **Rugosímetro**
- **Vernier de 6"**
- **Vernier de 8"**

III.4 LISTA DE MATERIALES

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Los materiales indirectos revisten una gran importancia en la producción a pesar de no formar parte en el producto final que el usuario adquiere, con estos materiales se logra dar valor agregado, en muchos de los casos, a las materias primas, así también sirven para lograr el funcionamiento adecuado de la maquinaria y equipo empleado durante el proceso.

En la fabricación de los cojinetes rectos donde la materia prima es únicamente la cinta metálica se requiere de una gran cantidad de materiales indirectos. Estos materiales se encuentran clasificados por familias, su designación se muestra en la tabla 3.1:

Clave	Descripción
01	Abrasivos
02	Baleros
03	Bandas
04	Estampador de golpe
05	Eléctricos
06	Aceites o Lubricantes
07	Químicos
08	Refacciones Mecánicas
09	Resortes
10	Seguridad
11	Soldaduras
12	Tornillería
13	Varios

Tabla 3.1 Clasificación de materiales.

Debido a la cantidad e importancia de estos materiales se dispone con un almacén dedicado, sujeto a diferentes tipos de controles, los cuales sirven para evitar gastos innecesarios, pérdidas de material, asegurar la localización rápida de los materiales, así como el evitar el desabasto que pueda retrasar la producción.

Los controles antes mencionados son llevados a cabo con:

- Vales para las hojas de operación e instrucción.
- Vales para cambio de buriles.
- Vales de movimiento de materiales.
- Vales de herramientas.
- Tarjeta viajera.
- Computadora personal.

Vale para las hojas de operación e instrucción.

Las hojas de operación indican las actividades a realizar, esta información por ser de vital importancia para la producción, cuenta con un mecanismo propio para su control, el cual se lleva a cabo a través de un vale, la información que contiene es la siguiente:

- Fecha.
- Número de parte.
- Operación.
- Nombre del solicitante.

- Línea.
- Turno.

Las hojas de operación se encuentran en un archivero y los vales aprobados se colocan en una repisa especialmente diseñada para esta actividad.

Vales para cambio de buriles.

Los buriles son de indudable importancia en el maquinado de las piezas y tienen alto valor económico por lo que es necesario manejar y controlar su uso en forma óptima.

El control que se lleva sobre los buriles es a través del uso de un vale, con el que se regula el cambio de este herramental, se requiere que el operador proporcione la siguiente información:

- Cantidad de piezas producidas.
- Turno.
- El número del buril.
- Máquina.
- No. de parte.
- Operador
- Supervisor.
- Fecha.
- Observaciones.
- Causa del cambio (ajuste, desafilado, ruptura).
- Firma de la persona que lo entregó.

Vale de movimiento de materiales

En este punto se hace uso de las típicas salidas de almacén. El operador llena el vale por el material que requiere, el cual es surtido por el almacenista, solamente si el vale tiene la firma de autorización.

Este vale contiene la siguiente información:

- Centro de costos.
- Fecha.
- Turno.
- Código del material.
- Cantidad solicitada.
- Unidad.
- Descripción del artículo.
- Catálogo.
- Importe.
- Firmas de autorización y recibo.

Vale de Herramientas

Para las herramientas el control es a través del cambio físico de las mismas, esto se debe a que el operador no puede tener más de una a la vez, por lo tanto el cambio sólo se registra en el momento en que la herramienta sufre algún daño físico o descompostura. La herramienta en la que se lleva un control por cada cambio es en los Blocks, los cuales se emplean como patrones para dar medida al producto en proceso. El vale usado para este control debe contener los siguientes datos:

- Área de producción.
- Turno.
- Número de máquina.
- Número de parte.
- Centro de costos.
- Fecha.
- Cantidad.
- Descripción.
- Número de la herramienta.
- Estado de la herramienta.
- Observaciones.
- Autorizaciones.

Tarjeta viajera

Cuando faltan materiales en almacén se hace la solicitud de abastecimiento a través de un documento denominado Tarjeta Viajera; en el almacén se llevan los registros de la cantidad de materiales existentes por medio de una computadora personal y un sistema informático, permitiendo establecer los niveles de inventario que se deben de mantener.

La Tarjeta Viajera se puede entender como una requisición interna de compra con la cual se puede controlar no sólo las entradas al almacén sino también los gastos que se originan. Algunos de los puntos más importantes que contiene son:

- Descripción del material.
- Unidad de medida.
- Número de código.
- Uso.
- Cuenta para el cargo.
- Datos de los proveedores.
- Consumos y niveles de inventarios por mes y año.
- Consumo previsto.
- Fechas de solicitud, de requerimiento, promesa de entrega y de recibo.
- Costos.
- Número de la orden de compra.
- Cantidad solicitada y recibida.
- Referencia del recibo.

III.5 RELACIÓN DE MANO DE OBRA DIRECTA

En la empresa Clemex se califica a la mano de obra de acuerdo al conocimiento y habilidad que tiene el trabajador en el uso de la maquinaria.

La clasificación de la mano de obra, con sus categorías y descripción, se muestra en la tabla 3.2. Se debe mencionar que para esta clasificación se usaron nombres ficticios que no corresponden a los que realmente maneja la empresa.

Categoría	Descripción
A	Experto en el uso y operación de tres máquinas diferentes.
B	Experto en el uso y operación de dos máquinas diferentes.
C	Experto en el uso y operación de una sola máquina.
D	Aprendiz en el uso de una o dos máquinas.
E	Ayudante general.

Tabla 3.2 Clasificación de la mano de obra

Los trabajadores con la categoría "A" realizan la función de supervisión y están en posibilidad de dar capacitación a los demás trabajadores. Existe un programa de capacitación permanente que permite a los trabajadores tener la oportunidad de pasar de una categoría a otra, esto se logra una vez que se ha asistido y aprobado un curso de capacitación determinado.

La mano de obra directa que interviene dentro del proceso analizado se presenta a continuación:

Corte/Estampado y Formado

Un trabajador con categoría "C" por cada línea.

Chamfer y Muesca

Para cada línea se tiene: un trabajador con categoría "C" para chamfer y un trabajador con categoría "B" para muesca, este último también realiza las operaciones de troquel y avellanado para otro tipo de cojinetes.

Shaver y Aerobore

Para cada línea se tiene: un trabajador con categoría "C" para shaver, un trabajador con categoría "B" para aerobore y un trabajador "D" como aprendiz de shaver y/o aerobore.

Resumiendo, el personal que interviene como mano de obra directa en las tres etapas del proceso analizado por línea típica es:

Etapas del Proceso	B	C	D	Total
Corte/Estampado y Formado		1		1
Chamfer y Muesca	1	1		2
Shaver y Aerobore	1	1	1	3
Total	2	3	1	6

Tabla 3.3 Relación de mano de obra directa

El trabajo del personal directo se realiza de lunes a sábado con una jornada de 8 hrs. y se tienen dos o tres turnos al día, según las necesidades de producción.

III.6 ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES

El almacenamiento y manejo de materiales para los cojinetes rectos de biela de acuerdo a los diferentes etapas del proceso se describe a continuación:

Corte/Estampado y Formado

Los rollos de cinta metálica son colocados por medio de un montacargas (A) en la tarima (2) destinada para estibarlos. Un trabajador haciendo uso de un polipasto (1), coloca el rollo de cinta en el equipo alimentador (3) de la máquina (4), para el proceso de corte/estampado. Saliendo de este proceso el material es llevado a mano a la mesa (5), y después es colocado a mano en la máquina (7) para el siguiente proceso. Después de ser formado el material, es colocado a mano en los contenedores (10). Por último, se lleva el material al almacén de producto en proceso (B); esto se lleva a cabo apilando cuatro contenedores llenos que son transportados entre dos trabajadores usando un gancho metálico para jalarlos (figura 3.7).

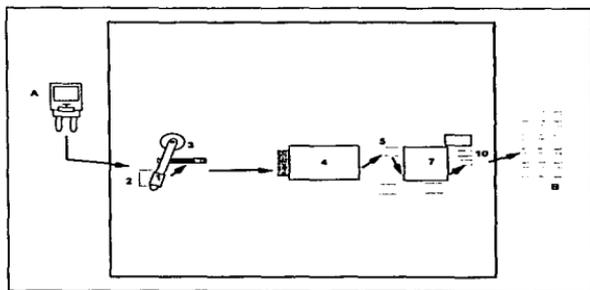


Figura 3.7 Flujo de materiales en el proceso de corte/estampado y formado.

Se debe mencionar que existen varias líneas que pueden realizar el proceso de corte y formado, por lo tanto, el material puede realizar cruces entre éstas dependiendo de los programas de producción y de la disponibilidad de la maquinaria.

Chamfer y Muesca

Del almacén de producto en proceso (B) se lleva la materia prima para chamfer (se apilan cuatro contenedores llenos, que son transportados entre dos trabajadores usando un gancho metálico para jalarlos) y se deja en (1). Después un trabajador coloca un contenedor en el volteador (2), se acciona este dispositivo y vacía la materia prima en el alimentador-orientador vibratorio (#) de la máquina (3). El producto en proceso que sale del chamfer se deposita en (5) y a mano se coloca en la banda transportadora (6), la cual alimenta los contenedores de materia prima para muesca (8); cuando se tiene lleno un contenedor este es vaciado a mano en el alimentador-orientador vibratorio (#) de la máquina (9). El producto que resulta del proceso de muesca se deposita a mano en los contenedores (10), para luego ser llevado nuevamente al almacén de producto en proceso (B) (del mismo modo que se transportó la materia prima para chamfer) figura. 3.8.

Antes de pasar al proceso de shaver y aerobore, el producto en proceso es llevado del almacén (B) a otra área, donde se somete a un proceso de lavado y se regresa nuevamente a este punto.

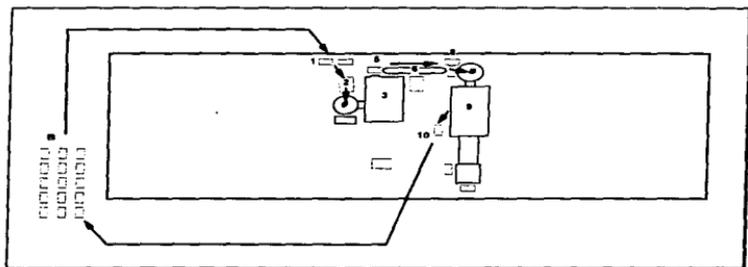


Figura 3.8 Flujo de materiales en el proceso de chamfer y muesca.

Existen varias líneas donde se puede realizar el proceso de chamfer y muesca por lo que el producto en proceso puede fluir por cualquiera de estas tres, dependiendo de los mismos factores que afectan el flujo en el proceso de corte y formado.

Shaver y Aerobore

Del almacén de producto en proceso (B) se lleva la materia prima para shaver (se apilan cuatro contenedores llenos que son transportados entre dos trabajadores usando un gancho metálico para jalarlos) y se deja en (1). A mano se coloca la materia prima en la máquina (3). El producto en proceso que sale del shaver se coloca a mano en la banda transportadora (3), donde un trabajador acomoda en hilera los cojinetes en proceso para alimentar la máquina de aerobore (5). El producto terminado de este proceso se coloca en cajas metálicas en (7), para ser llevado nuevamente al área de lavado (se debe mencionar que hasta este punto se delimitó el análisis del proceso en estudio) figura. 3.9.

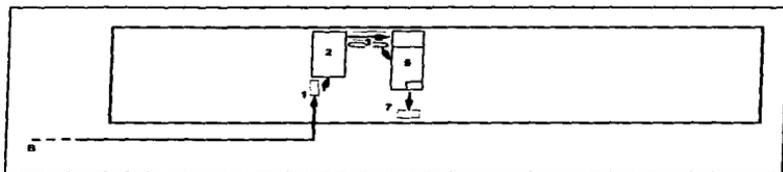


Figura 3.9 Flujo de materiales en el proceso de shaver y aerobore.

De igual manera que en los procesos anteriores el flujo del producto se puede realizar por las diferentes líneas que existen para el proceso de shaver y aerobore.

El equipo empleado para el almacenamiento y manejo de materiales es:

- Tarimas de madera.
- Polipasto con capacidad de 3 ton.
- Contenedores de plástico de 50 x 40 x 40 cm.
- Cajas metálicas de 60 x 30 x 30 cm.
- Bandas transportadoras.

La identificación del producto en proceso se realiza a través de un código que indica, dentro de lo más importante, el tipo de cojinete y el proceso por el cual ya ha pasado. Este código se coloca en un costado de los contenedores de plástico por medio de etiquetas.

Los cojinetes rectos para bielas así como otros modelos de cojinetes que se producen en Clemex tienen diferentes especificaciones en su espesor de acuerdo al tipo de aplicación del cual será objeto (ya sea como refacción

original o como refacción Clemex para diferentes medidas). Estas especificaciones se conocen como "bajo medidas" y con el fin de identificar el tipo de cojinete que se está fabricando para evitar retrabajos, desperdicios, averías en el herramental y reconocer el flujo que debe llevar el producto en el proceso se asigna un código de color, el cual se presenta en la tabla 3.4.

Especificación	Color
Std.	Verde
0.010" / 0.25 mm	Negro
0.020" / 0.50 mm	Violeta
0.030" / 0.76 mm	Azul
0.040" / 1.00 mm	Café
0.050" / 1.27 mm	Naranja
0.060" / 1.52 mm	Amarillo

Tabla 3.4 Código de bajo medidas.

III.7 MANTENIMIENTO Y SERVICIO

Existe un programa anual de mantenimiento preventivo para todas las máquinas, este programa contempla una inspección que se realiza tres semanas antes de llevar a cabo el servicio; es decir, si una máquina es programada para darle mantenimiento en la semana 5 del año, se realiza la inspección en la semana 2. La inspección, se realiza en forma visual, ayuda a establecer las acciones que se deben tomar en el mantenimiento preventivo de la máquina.

Para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de cada tipo de máquina, se tiene establecida la rutina a seguir así como las actividades y puntos a verificar en cada caso. Los sistemas principales de la maquinaria que se atienden son:

- Sistema Eléctrico
- Sistema Neumático
- Sistema Hidráulico
- Sistema Mecánico

Para cada uno de los sistemas se tiene determinado que actividad se debe realizar, que método se emplea, que especificaciones se tienen que cumplir, así como el tiempo empleado y el nombre del trabajador responsable de cada actividad de mantenimiento.

Para ejemplificar la rutina de mantenimiento preventivo que se emplea actualmente en la empresa se muestran los formatos que se llenan para el caso de la máquina que realiza el proceso de shaver.

MICROS ELÉCTRICOS				
POSICIÓN	FIJACIÓN (1)	CABLE (2)	DISTANCIA (3)	FUNCIONAMIENTO (4)
Slide arriba				
Slide abajo				
Yugo adelante				
Yugo atrás				
Alimentador cerrado				
Candado				

- 1.- Asegurarse que estén sujetos firmemente.
- 2.- Los cables deberán estar libres de dobleces y/o remiendos.
- 3.- La distancia al actuador deberá ser entre 0.5 y 1.5 mm.

MOTORES ELÉCTRICOS								
POSICIÓN	H.P.	AMP	LECTURA AMPERIMETRO	ELEMENTOS TÉRMICOS	LIMPEZA	FUNCIONAMIENTO	TEMPERATURA	CONTACTOR
Bomba hidráulica								
Transportador de salida								
Rebabeador								

SISTEMA ELÉCTRICO				
ACTIVIDAD	METODO	OBSERVACIONES	TIEMPO	NOMBRE
1.- Limpieza de contactos en relévores y arrancadores	Manual	Usar solvente		
2.- Reaprove de conexiones en chomas	Manual	Herramienta manual		
3.- Tapas en todas las cajas de conexiones	Visual	Reponer en caso necesario		

LUBRICACIÓN				
ACTIVIDAD	MÉTODO	OBSERVACIONES	TIEMPO	NOMBRE
1.- Verificar todas las mangueras libres de fugas y/o dobles	Visual			
2.- Limpiar depósito de aceite y revisar filtro malla de unidad de lubricación	Manual	Con petróleo y rellenar con Vactra II		
3.- Engrasar las chumaceras de la banda transportadora	Manual	Usar grease		
4.- Verificar y reponer nivel reductor del transportador	Visual	Rellenar con Mobil Gear 632		

SISTEMA HIDRÁULICO				
ACTIVIDAD	MÉTODO	OBSERVACIONES	TIEMPO	NOMBRE
1.- Verificar todas las mangueras libres de fugas y/o dobles	Visual			
2.- Verificar las conexiones a válvulas libres de fugas	Visual			
3.- Registrar presiones de trabajo	Manual	Anotar presión		
4.- Revisar nivel de brn. reponer en caso necesario	Visual	Rellenar con DTE-26		

SISTEMA NEUMÁTICO				
ACTIVIDAD	MÉTODO	OBSERVACIONES	TIEMPO	NOMBRE
1.- Verificar todas las mangueras libres de fugas y/o dobles	Visual			
2.- Verificar las conexiones a válvulas libres de fugas	Visual			
3.- Verificar alternadores y reponer los neómicos	Manual			
4.- Limpieza de unidad de mantenimiento (no usar solvente)	Manual			
5.- Limpieza de unidades de lubricación (no usar solvente)	Manual	Rellenar con DTE-24		
6.- Verificar el funcionamiento de las purgas manuales y/o automáticas	Manual			
7.- Limpieza de válvulas desconectables	Manual			
8.- Verificar fugas y contrapresiones en el tambor	Manual	Cambiar empaques		

SISTEMA MECÁNICO				
ACTIVIDAD	MÉTODO	OBSERVACIONES	TIEMPO	NOMBRE
1.- Verificar estado de la banda sin roturas y con el curro adecuado	Visual	Reponer con banda semi-gates		
2.- Verificar la tensión de la banda	Manual			
3.- Recomodar en caso necesario los soplores de aire al material	Manual			
4.- Cambio de herramienta dañada en alimentador	Visual/manual			
5.- Limpieza de guías del slide, aceitar si es necesario	Manual	80% min. de asentamiento		
6.- Verificar el avance uniforme del tambor	Visual			
7.- Verificar flechas del tambor sin ralladuras	Visual/manual	Reponer flechas		
8.- El tope del tambor deberá sujetar un papel (0.002") al cerrar el yugo	Visual/manual			
9.- Verificar acoplamiento de motonas	Visual/manual			

El mantenimiento preventivo se realiza los domingos empleando brigadas de cinco trabajadores.

En cuanto al mantenimiento correctivo, la forma de trabajar es la siguiente: al surgir un problema con alguna máquina o equipo, el área de producción o cualquier otra área, entrega una orden de mantenimiento la cual es atendida oportunamente por el departamento de mantenimiento. El tipo de formato que se emplea como orden de mantenimiento contiene básicamente la siguiente información:

SUPERVISOR	MÁQUINA	FECHA	TURNO	HORA
OPERADOR				
TRABAJO SOLICITADO:		CAUSA PROBABLE		
		LUBRICACION		
		MECÁNICA		
		ELECTRICA		
		ELECTRONICA		
		NEUMÁTICA		
		MANTENIMIENTO		
		OTRO		
		REPARACIÓN		
REPARACIÓN EFECTUADA:		REPARADOR		
		N° DE TABLATA		
REFACCIONES UTILIZADAS:		DEBIDOS DE TIEMPO		
		PERSONAL		
		REPARACIÓN		
		REFACCIONES		
RECIBO	FECHA	TURNO	HORA	T.P.
T.P. = TIEMPO TOTAL DE PARO				

Figura 3.10 Orden de mantenimiento.

La función principal de las órdenes de mantenimiento es llevar el control adecuado de las actividades de mantenimiento y contar con datos estadísticos que orienten las actividades del mantenimiento preventivo. Un dato importante que se obtiene de las órdenes de mantenimiento son las horas de paro, las cuales también son registradas por la gente de

El mantenimiento preventivo se realiza los domingos empleando brigadas de cinco trabajadores.

En cuanto al mantenimiento correctivo, la forma de trabajar es la siguiente: al surgir un problema con alguna máquina o equipo, el área de producción o cualquier otra área, entrega una orden de mantenimiento la cual es atendida oportunamente por el departamento de mantenimiento. El tipo de formato que se emplea como orden de mantenimiento contiene básicamente la siguiente información:

SUPERVISOR	MAQUINA: OPERADOR:	FECHA:	TURNO:	HORA:
TRABAJO SOLICITADO:				CAUSA PROBABLE:
				LUBRIFICACIÓN
				MECÁNICA
				ELECTRICAL
				ELECTRÓNICA
				REPARACIÓN
				MAQUINA
				VALOR
				MECÁNICA
				ELÉCTRICA
				OTRO
REPARACIÓN EFECTUADA:				REPARADOR:
				Nº DE TALENTO:
REACCIONES UTILIZADAS:				RESOLUCIÓN DE TIEMPO:
				PERSONAL:
				REPARACIÓN:
				REACCIONES:
REGISTRO	FECHA	TURNO	HORA	T.T.P.
T.T.P. = TIEMPO TOTAL DE PARO				

Figura 3.10 Orden de mantenimiento.

La función principal de las órdenes de mantenimiento es llevar el control adecuado de las actividades de mantenimiento y contar con datos estadísticos que orienten las actividades del mantenimiento preventivo. Un dato importante que se obtiene de las órdenes de mantenimiento son las horas de paro, las cuales también son registradas por la gente de

producción, sin embargo muchas veces no coinciden ambos datos, lo que origina cierta problemática entre ambas áreas.

Tanto para el mantenimiento preventivo como para el mantenimiento correctivo se hace uso de los recursos informáticos que proporciona la computación, sin embargo, para ambos tipos mantenimiento los sistemas aún funcionan en forma aislada.

El área de mantenimiento tiene una plantilla que incluye supervisores y técnicos con diferentes especialidades: eléctricos, mecánicos, electrónicos, etc.. La mayor parte del personal de mantenimiento tiene un grado académico pero también hay personal que sólo cuenta con su experiencia para desarrollar su trabajo. La tendencia del departamento de mantenimiento es contar con personal que haya cursado una carrera técnica ya que el periodo de aprendizaje disminuye y se obtienen mejores resultados.

III.8 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

Planeación de la Producción

La planeación de la producción esta basada en una metodología que depende de la demanda que se tiene en los diferentes mercados. Estos mercados son:

- Equipo original.
- Repuesto.
- Exportación Normal (todo el mundo excepto Estados Unidos de América).
- Exportación a Estados Unidos de América.

Las divisiones son hechas en base a la importancia especifica que tienen para la empresa; por ejemplo las piezas de equipo original no representan la mayor cantidad de ingresos, sin embargo son sumamente importantes, desde el punto de vista de presencia en el mercado automotriz.

Por otro lado, se debe mencionar que el mercado de exportación está dividido en dos ya que el volumen de ventas hacia el vecino país del norte es de gran consideración en comparación con las ventas por exportación hacia otros países. Esto se debe a que la mayor parte de los productos fabricados en Clemex están bajo especificaciones de la industria automotriz norteamericanas.

La demanda que se toma en cuenta para la planeación de la producción es el promedio histórico de ventas de un año contemplando las ventas nacionales y de exportación. El objetivo de la planeación es buscar la

utilización óptima de la capacidad instalada en base a la demanda de los diferentes mercados. La metodología que se emplea para cumplir con este objetivo se muestra a continuación:

- 1) **Equipo original.-** Se trabaja en base a los requerimientos de las plantas ensambladoras de automóviles que presentan programas mensuales. El mes siguiente al que esta en producción es llamado en "firme" y el posterior es el denominado "tentativo", el tentativo se puede modificar, no así el firme, esto es con la finalidad de poder programar la producción en forma confiable. Esta asignación tiene un límite, el cual es de 1.5 meses de inventario.
- 2) **Ceros Reales.-** Son considerados críticos, esto es porque están agotados o a punto de estarlo. Por esta razón su programación obedece a tres veces su demanda.
- 3) **De 0.1 a 1.5 meses de inventario.-** Estos reciben el nombre de ceros a la vista; para evitar que se conviertan en críticos, se asigna tres veces su demanda.
- 4) **De 1.6 a 3 meses de inventario.-** A estos números de parte se les asigna de forma similar tres veces su demanda.
- 5) **Exportación.-** Los números de parte se asignan a exportación hasta dejar 1.5 meses de inventario para el mercado nacional.
- 6) **- Nuevos productos.-** En caso de existir se programan de acuerdo a cada caso.

7) Ajustes (más de lo mismo). Cuando en los puntos anteriores no se ha aprovechado toda la capacidad instalada de la planta, se comienza a incrementar el número de piezas a producir de inventario para los números de parte consideradas críticas, así como, para los inventarios de seguridad, claro esta que en el caso del equipo original no se sufren modificaciones.

El programa de producción se elabora entre los días 15 y 20 de cada mes, esto se debe a que a mediados de mes se hace un ejercicio para estimar los inventarios con los que se terminará el mes en curso; se realiza restando al valor estimado lo que se gasta en medio mes, lo que da como resultado un inventario denominado virtual que permite observar el comportamiento que se puede tener.

En la relación de los meses de inventarios que se tienen por número de parte, manualmente a la derecha de este dato se escribe el mes en que se producirá o cuando comenzó su producción, así mismo se marca en forma especial a los números de parte críticos.

Durante la planeación de la producción se tiene mucha precaución con el material que hay en proceso, esto se hace con el fin de evitar un sobre inventario que pueda repercutir en pérdidas económicas para la empresa.

En el caso de piezas que por su naturaleza son requeridas por juegos, la planeación toma en cuenta el número de piezas que compone un juego, por lo que se obtiene el número neto de piezas a producir de la siguiente forma:

Juegos x Número de piezas por juego = Piezas a producir.

Los juegos son obtenidos con el dato de la demanda, el cual es variable. El número de piezas por juego es constante para cada número de parte.

La planeación de la producción se realiza con una hoja de cálculo por computadora en la cual se tiene la clasificación de los números de parte, esto es:

- AAA (los mas importantes y de mayor rotación).
- AA.
- A.
- B.
- C (Los que se pueden producir una o dos veces al año únicamente).

Esta hoja se alimenta con las cantidades de piezas programadas para el mes, determinando lo equivalente a un plan maestro de producción.

Una vez que se ha determinado el número de piezas a producir de cada tipo se hace el cálculo de la materia prima necesaria (kilos de cinta). Cuando se tiene esta información, se programa la producción de los polvos que forman parte de la cinta metálica con que se fabrican los productos Clemex.

Control de la Producción

El control de la producción se apoya en el uso de formatos, que contienen, principalmente la siguiente información:

- **Número de parte.**
- **Inventario inicial.**
- **Piezas resultantes en cada operación.**
- **Bulk.**
- **Scrap.**
- **Saldo en proceso.**

El número de parte hace mención al tipo de pieza que se produce, con el cual se puede identificar su aplicación y especificaciones.

El inventario inicial sirve cuando se está haciendo la planeación de la producción. En cada operación las máquinas registran el número aproximado de piezas que procesan, ya que cuando se arranca la máquina o sufre algún ajuste u otra circunstancia llega a contabilizar piezas de más, por ejemplo no es extraño que para el mismo número de parte se registre que se cortaron 1000 piezas y en un proceso posterior salieron 1100, debido a esto los datos arrojados no son tomados para la planeación.

El Bulk se refiere a las piezas que no se contemplan en el programa inicial; su producción es avalada por un documento. A partir del Bulk se programan las cantidades de piezas faltantes. Por ejemplo, en el caso de los cojinetes para cigüeñal cuya demanda es discontinua y pequeña en comparación con los cojinetes rectos.

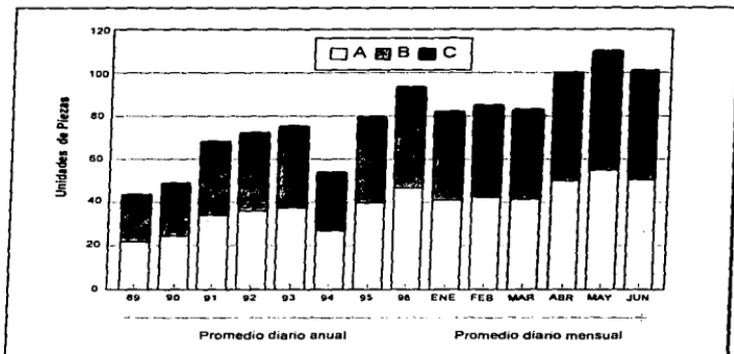
Para el control de inventarios se cuenta con el dato de saldo en proceso, ya que de esta forma podemos saber donde está localizado el material, ya sea en almacén o en alguna parte del proceso.

Los desechos reciben el nombre de Scrap, son contabilizados con distintas finalidades, entre las cuales se tiene la de compararlos con los volúmenes de producción, para obtener indicadores de eficiencia.

III.9 VOLÚMENES Y COSTOS DE PRODUCCIÓN

Volúmenes de Producción

A continuación se muestran una gráfica que representa un histórico de los volúmenes de producción³ de los cojinetes rectos:



Gráfica 3.1 Volumen de producción de cojinetes rectos.

De la gráfica anterior se puede concluir que aproximadamente el 50% de la producción está enfocada a la fabricación de los cojinetes rectos para biela (A), 35% para los cojinetes rectos de cigüeñal (B) y 15% para los otros cojinetes rectos (C). Esto se debe en gran parte a que la demanda de cojinetes rectos para biela es superior en comparación con los otros tipos de cojinetes.

³ Se emplea una unidad arbitraria para representar el volumen de piezas producidas al día.

Por otro lado, la distribución mensual del volumen de producción durante el primer semestre de 1996 de los cojinetes rectos para biela, en base a la gráfica 3.1, es como se muestra en la siguiente tabla:

Mes	U. de piezas al día	Porcentaje
Ene-96	41	14.6%
Feb-96	43	15.3%
Mar-96	42	14.9%
Abr-96	50	17.8%
May-96	55	19.6%
Jun-96	50	17.8%

Tabla 3.5 Distribución mensual de la producción de cojinetes rectos para biela.

De la tabla anterior se determina que el promedio diario de producción durante el primer semestre de 1996 es de 46.8 unidades.

Costos de Producción

La información sobre la estructura de costos y de las cantidades que se manejan dentro de la empresa Clemex es confidencial, por tanto se presenta una estructura de costos con cantidades representadas en forma de porcentajes.

La idea de poder cuantificar los costos que origina la producción de los cojinetes rectos de biela, radica en poder realizar la evaluación e impacto

económico que se genera por la incorporación de un nuevo sistema de manufactura.

La estructura de costos que se emplea para el análisis del estudio es:

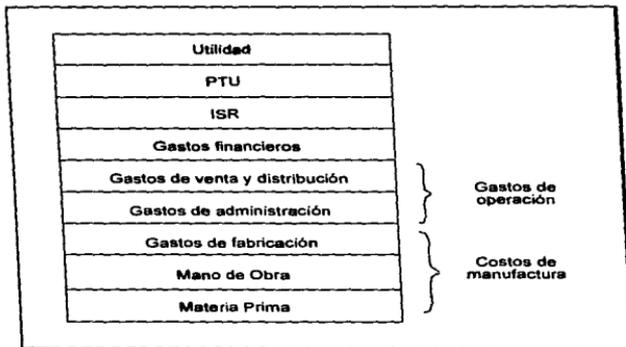


Figura 3.11 Estructura de costos.

Para el caso de este análisis se tomará los costos de manufactura y los gastos de operación como base de comparación para el FMS que se propone en el siguiente capítulo.

Costos de Manufactura. - Están compuestos por el costo de la materia prima, de mano de obra y por los gastos de fabricación.

Los costos de materia prima involucran el precio por volumen, las condiciones de compra, los créditos bancarios para su adquisición, los fletes, seguros de transporte, costos aduanales, aranceles, etc., también se involucran los costos de logística por almacenaje y manejo interno de la materia prima.

Los costos por mano de obra se dividen en directos e indirectos. Los costos por mano de obra se forman por el salario más las prestaciones.

Los gastos de fabricación se dividen en fijos y variables. Los fijos hacen referencia a todos los impuestos relacionados con la propiedad y a la depreciación de los activos de la empresa. También involucra los costos por supervisión, mantenimiento, almacenistas, entre otros que no dependen del volumen de producción. Los gastos de fabricación variables son: energía, mantenimiento, agua, control de contaminación y material de empaque.

Gastos de operación.- se dividen en los gastos de administración que resultan ser fijos y los gastos por ventas y distribución, que son variables por estar en función de los volúmenes de producción.

Los gastos de administración están formados por los sueldos administrativos, sueldos de directores, departamento de contabilidad, ejecutivos, así como por los gastos de representación, viáticos, mensajería, etc..

Los gastos de venta y distribución se forman por las comisiones de los vendedores, publicidad y promoción, fletes y empaques.

A continuación se muestran los porcentajes que representan el valor de los costos antes mencionados:

Tipo de costo o gasto	Pocentaje
Mano de obra	38%
Materia prima	35%
Fabricación	8%
Administración	13%
Venta y distribución	6%
Total	100%

Tabla 3.6 Tabla de porcentajes de costos.

CAPITULO IV

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

VI.1 ANTECEDENTES.

VI.2 METODOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO Y DESARROLLO.

VI.3 CONSIDERACIONES Y DISEÑO DEL FMS.

VI.4 DESARROLLO DEL FMS.

VI.5 CONFIGURACIÓN FINAL DEL FMS.

IV.1 ANTECEDENTES

El objetivo del diseño y desarrollo del sistema de manufactura flexible para el proceso de fabricación de cojinetes, descrito en el capítulo anterior, busca en todo momento la factibilidad técnica y económica del proyecto, sin alejarse de la filosofía de un FMS, dando al área de producción la cualidad de responder rápida y económicamente a los cambios que el mercado demanda.

Es cierto que un FMS implica un aporte considerable de tecnología, tanto en maquinaria y equipos como en control y automatización de los procesos; pero la incorporación de nuevas tecnologías, por sí mismas no es la idea de esta investigación, sino la de aplicarlas con la finalidad de apoyar la permanencia y solidez de la empresa en el mercado nacional e internacional.

Se debe recordar que el grado de flexibilidad varía dependiendo del número de elementos que integren el sistema, sin embargo, existen tres características comunes para todo sistema flexible de manufactura: integración, inteligencia y adaptabilidad.

En lo que concierne a los elementos del FMS propuesto, el sistema cuenta con la infraestructura informática necesaria para llevar a cabo el control y optimización de la fabricación de los diferentes tipos de cojinetes rectos de biela, permitiendo obtener los niveles de mezcla y volúmenes de producción que el cliente demande. El sistema monitorea la disponibilidad de las máquinas, así también controla el cambio manual de herramientas, el

manejo de materiales, el aseguramiento de la calidad y el mantenimiento de la maquinaria y equipos que lo componen.

Se debe mencionar que las máquinas no se sustituirán por maquinaria de control numérico por computadora, debido a la gran inversión económica que esto significa y a que técnicamente no se produce un decremento significativo en la flexibilidad del proceso. Sin embargo se contempla que todas las máquinas cuente dispositivos que permitan coordinar su funcionamiento con los demás elementos del sistema.

En cuanto a la mano de obra, el FMS maneja el concepto de manufactura desatendida, elementos automáticos y de control sustituyen ciertas actividades que en un sistema de manufactura convencional se realizan en forma manual. El sistema de manufactura propuesto contempla el uso de personal para realizar las siguientes actividades: carga y descarga de materia prima en el sistema de manejo de materiales y almacenamiento; hacer funcionar y supervisar las máquinas; colocar, ajustar y revisar los herramientas; realizar la medición e inspección en las estaciones de aseguramiento de calidad; administrar y hacer funcionar los recursos informáticos; y por último realizar el mantenimiento del sistema en forma integral.

El sistema de manufactura flexible que se propone cumple con las tres características comunes que deben tener estos sistemas:

La *integración* se logra a través de una plataforma informática que permite coordinar en forma eficiente la comunicación, logrando la interacción armónica entre los diferentes elementos que conforman el sistema.

La *inteligencia* se cumple haciendo uso reglas y algoritmos que permite el adecuado manejo de las variables que intervienen en el proceso, garantizando una respuesta consistente con los parámetros de producción, operación y calidad que se estipulan para el funcionamiento del sistema de manufactura.

La *adaptabilidad* queda implícita en el diseño del sistema, puesto que se contempla optimar los tiempos de paro por cambios en los volúmenes y mezclas de producción, así como facilitar la fabricación de nuevos tipos de cojinetes o de otros productos con características comunes. También el sentido de adaptabilidad se cumple desde el punto de vista informático, ya que la plataforma de integración empleada permite la incorporación de nuevos programas (aplicaciones) o la interacción con otros sistemas que existen o se desarrollen en la empresa.

Existen diferentes metodologías para el diseño y desarrollo de un sistema de manufactura flexible, en primer lugar se considera si el proyecto partirá de cero o se trata de la migración de un sistema de manufactura convencional a un sistema flexible, en el caso de este estudio, es evidente que se trata de una migración de sistemas. La metodología empleada para el sistema de manufactura flexible se expone a continuación.

IV.2 METODOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO Y DESARROLLO DE UN FMS

No existe una metodología totalmente delimitada para el diseño, desarrollo e implantación de un sistema de manufactura flexible, entran en juego muchos factores como son: el tipo de empresa, sus características propias y su entorno comercial y económico; los diferentes tipos de procesos y de productos, la mezcla que se requiera de ellos, así como el alcance que se quiere lograr con la incorporación de nuevas tecnologías.

Con las diferentes metodologías existentes se buscó integrar una sola con la finalidad de adaptarla a los objetivos que se persiguen con el desarrollo de este estudio. Esta metodología se adapta al tipo de empresa, proceso y productos que se están analizando. Se debe mencionar que esta metodología no contempla la simulación e implantación del sistema ya que estos puntos no están dentro del objetivo del proyecto de tesis. Los puntos que integran esta metodología son:

- **Determinación del proceso y producto a analizar.**
- **Estudio de proceso actual.**
- **Consideraciones y diseño del FMS**
 - **Productos o piezas.**
 - **Procesos y operaciones.**
 - **Maquinaria y equipos.**
 - **Subsistemas.**
 - **Infraestructura informática, de control y comunicaciones.**
 - **Integración.**
- **Desarrollo del FMS.**

- Aplicaciones que conforman el sistema.
- Integración entre las aplicaciones del sistema .
- Transferencia de información entre el sistema de manufactura y otros sistemas con que cuenta la empresa.
- **Configuración final del FMS.**
 - Lista de mano de obra directa, equipos y dispositivos.
 - Diagrama lógico integral.
 - Distribución de planta.

Los dos primeros puntos de esta metodología fueron cubiertos en el capítulo anterior, el tercer punto nos hace referencia a las consideraciones que se deben seguir para el diseño del sistema, en primer lugar se debe agrupar a la variedad de productos o piezas seleccionas en familias ya sea por sus características físicas o por el tipo de maquinados que requiere; se debe determinar si se sustituirá la maquinaria existente o se debe de actualizar, esto dependerá de las expectativas tecnológicas y económicas con que disponga la empresa; se deben determinar los subsistemas que conformen el sistema, haciendo referencia al manejo de materiales, al aseguramiento de la calidad, al mantenimiento, etc., lo cual se maneja desde el punto de vista de los elementos que integrarán los subsistemas, así como de su grado tecnológico y funcionamiento; por último contempla el tipo de infraestructura informática y de comunicaciones que se debe seleccionar para garantizar el funcionamiento del sistema, también se debe determinar como se logrará la integración de todos y cada uno de los elementos que intervienen en el sistema de manufactura, así como la forma en que se deben concebir los programas que permitan desarrollar las aplicaciones.

En lo que se refiere al desarrollo, primero se delimitan las aplicaciones que componen al sistema, las variables que intervienen, los elementos humanos y técnicos que las conforman. Después la interrelación que existe entre las aplicaciones y los demás sistemas existentes en la empresa. Se establece el funcionamiento de la herramienta de integración que permita el funcionamiento armónico de las partes.

Por último se presenta la relación de mano de obra directa, la lista de equipos y dispositivos, así como el diagrama lógico final del FMS, con el cual se representa el flujo que seguirán los productos a través de las etapas del proceso. También se determina la distribución de planta que se obtiene del diseño y desarrollo del sistema de manufactura.

IV.3 CONSIDERACIONES Y DISEÑO DEL FMS

Producto

En cuanto a los productos que se fabrican dentro de un FMS, la metodología de diseño recomienda agruparlos, así como a las partes que los integran, en grupos con características comunes, tanto físicas como de proceso; a estos grupos se les conoce como "familia de productos" o "familia de piezas".

Como ya se ha mencionado, la empresa Clevite fabrica diferentes tipos de cojinetes, ya sea como equipo original o como refacción Clemex. Para el caso particular del sistema de manufactura flexible propuesto se considera la producción de cojinetes rectos de biela (CB) como equipo original para dos compañías automotrices (A y B), con tres modelos diferentes; y como refacciones Clemex (R) para cada uno de los modelos de cojinetes de las compañías con tres diferentes especificaciones en bajo medida. Por lo tanto, la familia de cojinetes rectos para biela que se considera en el diseño y desarrollo del sistema de manufactura flexible es la que se presenta en la siguiente figura:

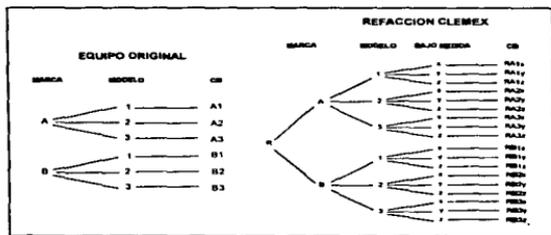


Figura 4.1 Familia de cojinetes rectos de biela.

Los cambios en los volúmenes y mezclas de la familia de cojinetes rectos de biela que demande el mercado ponen a prueba la cualidad del sistema de manufactura flexible, de responder rápida y económicamente a las fluctuaciones que se presenten en estos dos importantes factores.

También se prueba el desempeño del sistema de manufactura al pensar que a esta familia de cojinetes se le puede agregar nuevos elementos: los cojinetes rectos de biela para los motores de la compañía automotriz "C", así como las refacciones Clemex correspondientes. Esto implica un reajuste en los programas de producción; en la asignación de la maquinaria; en el diseño, cambio y ajuste en los herramentales, etc.. Es decir, se afecta el funcionamiento del área de producción, y en ese momento el FMS, a través de la integración de sus elementos, responde inteligentemente ante la problemática, adaptándose al entorno cambiante del mercado.

Etapas del Proceso

Las etapas del proceso u operaciones, así como la secuencia que se sigue en la fabricación de los cojinetes se describió en el capítulo anterior. Con la finalidad de tener presente esta información y adecuarla a la metodología empleada, se presenta en la figura 4.2 el diagrama lógico que describe las operaciones que intervienen, así como el flujo que se sigue a través del proceso.

Sobre las etapas y secuencia del proceso, el diseño no contempla cambio alguno, la fabricación de las piezas se realizará en las máquinas que están dedicadas exclusivamente a cada tipo de operaciones, pero no por ello se perderá la flexibilidad, ya que el proceso puede seguir un flujo diferente, dependiendo de las disponibilidad de la maquinaria.

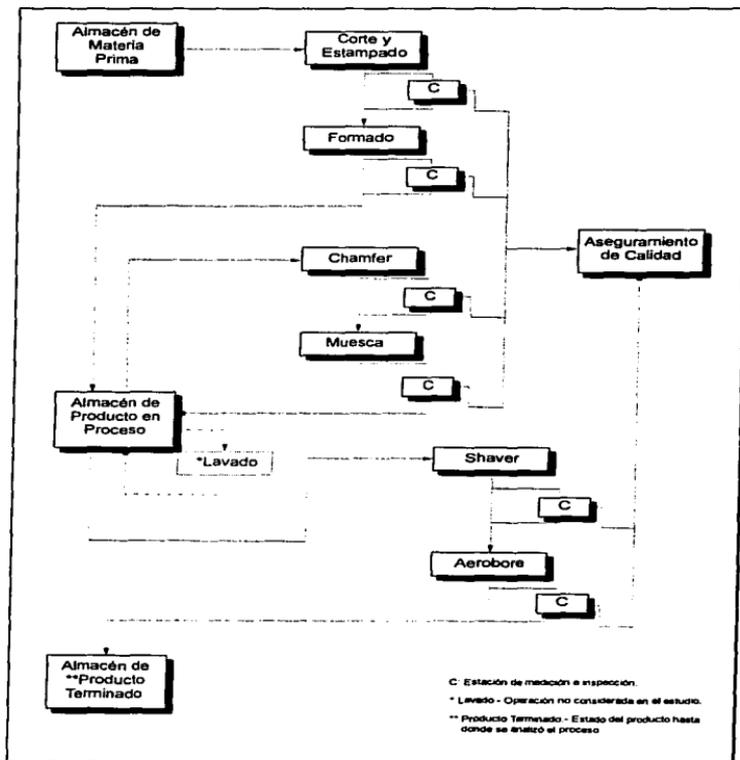


Figura 4.2 Diagrama lógico del sistema de manufactura convencional.

Maquinaria

De las líneas típicas de maquinado que se emplean en las operaciones del proceso analizado, el sistema de manufactura propuesto dispone de tres líneas para cada una de las etapas, a este conjunto de máquinas se le llamará "centro de maquinado". Es decir, el sistema cuenta con los siguientes centros de maquinado (con tres líneas típicas cada uno):

1. Corte/estampado y formado.
2. Chamfer y muesca.
3. Shaver y aerobore.

Se entiende que el sistema puede contar con una combinación diferente de máquinas, sin embargo este número permite ejemplificar en forma clara la flexibilidad del sistema.

No se contempla en el diseño del sistema de manufactura el remplazo de la maquinaria por centros de maquinado de control numérico por computadora (CNC). A pesar de que este tipo de maquinaria es la que se recomienda en el diseño de un FMS, para el caso de este sistema de manufactura no se necesita maquinaria tan universal, ya que la familia de productos considerada presenta variedad exclusivamente en dimensiones y los maquinados que necesita son iguales para todos los tipos de cojinetes rectos de biela. Por lo que la maquinaria existente es lo suficientemente flexible para incorporarse al sistema propuesto sin afectar su desempeño.

Por otro lado, la inversión económica que se requiere en la adquisición, funcionamiento y manutención de la maquinaria CNC es considerablemente mayor a la que se requiere para la maquinaria de tipo convencional.

Pensando en la justificación económica del proyecto, se decide emplear la misma maquinaria adicionándole elementos que permitan eficientar su funcionamiento, contribuyendo a la coordinación adecuada del sistema.

Se contempla la alimentación automática de materia prima en cada una de las máquinas, haciendo uso del alimentador-orientador vibratorio, en el caso de las máquinas para los procesos de chamfer y muesca que ya cuentan con este dispositivo, solamente se coordina su funcionamiento con los demás elementos del sistema; para las máquinas empleadas en los procesos de formado, shaver y aerobore se adapta este dispositivo armonizando su funcionamiento. Se recuerda que la prensa que realiza la operación de corte y estampado actualmente cuenta con un sistema automático de alimentación diferente (debido a la naturaleza de la materia prima que requiere: cinta metálica), este sistema de alimentación no se modifica, de igual modo sólo se busca coordinar su funcionamiento con el resto del sistema.

El beneficio que se obtiene por incorporar la alimentación automática de materia prima en todos los centros de maquinado se refleja en la disminución de las actividades a pie de máquina que realiza el operario, optimando el uso de la maquinaria y permitiendo al sistema, en forma integral, coordinar las actividades de manufactura.

Se incorpora a todas las máquinas un contador de piezas producidas que le permita al sistema evaluar la eficiencia de las máquinas; el desempeño en cuanto al aseguramiento de calidad; y la habilidad de proporcionar información que apoye el establecimiento de los programas de cambio de

herramental y rutinas de mantenimiento preventivo. También se incorporará a la maquinaria elementos de control como son:

Botones para registrar eventos.- Cada máquina contará con un par de botones: el primero sirve para registrar el término de la preparación de la máquina (cambio y ajuste de herramientas, mantenimiento, etc.); el segundo tendrá la función de indicar que la máquina se encuentra parada por alguna falla o ajuste.

Dispositivo generador de mensajes (display).- A través de este dispositivo se muestra al operario las actividades que debe realizar con respecto a los cambios y ajustes que requiere la máquina de acuerdo al tipo de cojinete que este en proceso.

Indicadores luminosos.- Son básicamente focos que señalizan el estado de funcionamiento de la máquina, se emplean uno rojo para indicar que existe una falla (paro) y una verde cuando la máquina funciona correctamente.

Manejo de Materiales y Almacenamiento

Uno de los elementos primordiales de los sistemas de manufactura flexible es el manejo de los materiales, se recomienda contar con un sistema automatizado que permita llevar a todos los centros de maquinado la materia prima necesaria, y de igual modo conducir al producto resultante hacia la siguiente operación o en su caso al área de almacenamiento.

Generalmente se emplean vehículos dotados con un cierto grado de inteligencia que les permita conducirse en forma autónoma a través de las diferentes etapas del proceso; también se utilizan robot u otros mecanismos

autónomos para manipular los productos o contenedores. Sin embargo estos dispositivos de manejo de materiales resultan ser elevadamente costos, por lo que se optó por diseñar un sistema de manejo de materiales semiautomático, compuestos por otro tipo de elementos cuyo costo no es tan elevado, sin perder las características de funcionalidad que demanda un FMS.

Para el sistema de manufactura convencional que se describió en el capítulo anterior, el manejo de los cojinetes en proceso a través de las diferentes máquinas se realiza en contenedores de plástico, los cuales son transportados y manipulados manualmente; la identificación del tipo de cojinete que lleva el contenedor se realiza por medio de un código de colores; y su destino correspondiente se apoya en las órdenes de producción.

El sistema de manejo de materiales propuesto presenta manipulación y transportes en forma convencional, aunque la mayor parte de estas actividades se llevan a cabo con dispositivos y elementos de control automático.

En el primer centro de maquinado se emplea un manipulador convencional (polipasto) para la colocación de los rollos de cinta metálica en los alimentadores de las máquinas de corte y estampado; la única función de control que realiza el sistema en esta etapa será indicar al trabajador a través de una señal visual (display colocado junto al dispositivo alimentador de cada máquina) que tipo de cinta se requiere o se está usando para el tipo de cojinete en proceso.

En lo que respecta al producto resultante de la operación de corte y estampado y a la distribución de este en los alimentadores de las máquinas que realizan la operación de formado, no se contempla el uso de un elemento automático de distribución y vaciado debido a que se considera a cada línea que integran el centro de maquinado de corte y formado como una sola máquina y los cruces de materia prima entre las diferentes líneas serán poco frecuentes, a tal grado que no se justifica el uso de un elemento automatizado, sin embargo esta consideración hace que se pierda flexibilidad en este centro de maquinado, para resolver este problema se propone la siguiente solución:

El producto resultante de la operación de corte y estampado se recolecta en un recipiente, y una vez que este lleno, manualmente el operario vierte su contenido en el sistema de alimentación de la máquina que realiza la siguiente operación. Este recipiente es móvil y en el caso de que la máquina de formado perteneciente a la línea en funcionamiento este deshabilitada, el operario podrá llevar en forma manual al recipiente para alimentar otra de las máquinas de formado que disponga del herramienta necesario que permita continuar con el proceso. En caso contrario, el sistema de manufactura dará el orden de detener la máquina de corte y estampado en cuestión.

Hasta este punto del proceso el manejo de materiales es manual con un grado mínimo de control automático. Para el manejo de materiales en las siguientes etapas del proceso se emplean los elementos automáticos y de control, los cuales se describen a continuación.

A partir del producto que resulta de la operación de formado se emplean los contenedores de plástico como el elemento para manejar al producto en proceso de igual modo que en el sistema de manufactura convencional descrito anteriormente, sólo que ahora se incorporará una memoria grabable en un costado de cada contenedor (figura 4.3), la información que tendrá la memoria determina el origen, destino y el tipo de cojinete que lleva el contenedor. Estas memorias son de tipo inductivo, con 2 KB de capacidad de almacenamiento de información y con un tamaño de 60 x 40 x 15 mm..

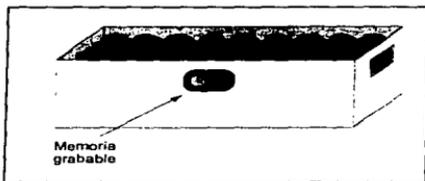


Figura 4.3 Contenedor con memoria.

La forma de grabar la información en las memorias es a través de un dispositivo grabador/lector que se coloca en la salida de las máquinas (excepto en las que se realiza la operación de corte y estampado), su función consiste en registrar en los contenedores el tipo de cojinete que lleva, la operación que se le realizó (origen) y la identificación de la máquina donde se le realizará el siguiente operación (destino), en el caso de la última etapa del proceso (aerobore) su destino será el almacén de producto terminado. También se debe mencionar que el dispositivo grabador/lector tienen la función de censar la correcta colocación de los contenedores vacíos para ser llenados, haciendo uso de un par de elementos adicionales.

Es decir, un botón se acciona al colocar manualmente un contenedor en la salida de una máquina, provocando que se ponga en funcionamiento el dispositivo grabador/lector, si la colocación es correcta se enciende un foco y se comienza a grabar la memoria; si el foco no enciende se debe a que la colocación del contenedor es incorrecta y/o a la existencia de un mal funcionamiento en la memoria del contenedor en cuestión.

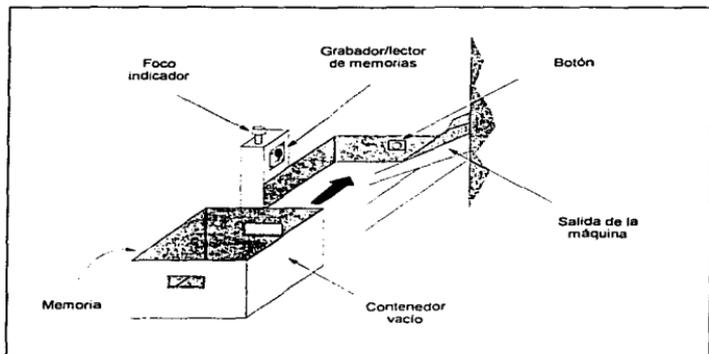


Figura 4.4 Dispositivo grabador/lector de memorias.

La forma de leer la información que llevan las memorias, previamente grabadas en las salidas de las máquinas, es a través de un elemento que sólo tiene la función de lectura (dispositivo lector de memorias), el cual permite la interacción de los contenedores con los otros elementos que forma parte del sistema de manejo de materiales.

La forma de transportar y distribuir los contenedores a través de las diferentes máquinas que forman los centro de maquinado de chamfer y muesca y de shaver y aerobore es por medio de una banda transportadora que circunda a cada uno de estos centros de maquinado; la forma de ingresar y retirar los contenedores de las bandas transportadoras y de manipular los contenedores para ser vaciados en los alimentadores de las máquinas se realiza a través del uso de los siguientes dispositivos:

Dispositivo de carga.- Este dispositivo está formado por los siguientes elementos: rampa de rodillo (con cierta inclinación) con bifurcación y compuerta; dispositivo lector de memorias y display. La forma en que opera este dispositivo es: un trabajador manualmente coloca un contenedor en el extremo superior de la rampa, (no lo puede colocar en otro punto, porque la rampa cuenta con protecciones físicas que impiden esta acción, (ver figura 4.5), el dispositivo lector registra la información que contiene la memoria y produce una señal que es manda a la compuerta¹ y al display, en caso de que el contenedor lleve el tipo de cojinete que requiere el sistema de manufactura, se permite su libre ingreso a la banda y el display lo confirma a través de un mensaje de aceptación; pero si el contenedor no lleva lo que el sistema demanda o su colocación es tal que no permita la lectura de la memoria, se manda una señal a la compuerta, para que esta se accione y el contenedor tome la bifurcación de la rampa y regrese al almacén de producto en proceso.

Cada banda cuenta con un dispositivo de este tipo, pero también serán empleados junto a cada una de las máquinas que realizan las operaciones de chamfer, muesca, shaver y aerobore, con la finalidad de ingresar a la

banda transportadora correspondiente a los contenedores llenos del producto que resulta de cada una de estas operaciones, solamente que ahora el contenedor que no se coloque correctamente tomará la bifurcación para regresar a los pies del operario para ser colocado nuevamente; en caso de que el sistema de manufactura no requiera del tipo de cojinete que lleva el contenedor en cuestión, no se permitirá su ingreso a la banda, y el display emite el mensaje que informe al operario de la situación de dicho contenedor.

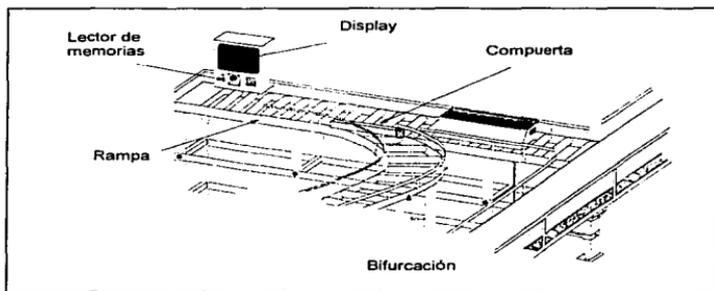


Figura 4.5 Dispositivo de carga de contenedores.

Dispositivo de descarga.- Este dispositivo está formado por una mesa, un lector de memorias, un pistón neumático y una rampa de rodillo con inclinación; tiene la función de retirar los contenedores de las bandas cuando el sistema así lo requiera. Se emplean dos dispositivos de descarga, uno en cada banda (ver anexo A).

¹La posición normal de la compuerta permite el acceso del contenedor a la banda.

El funcionamiento de este dispositivo es el siguiente: el contenedor viaja a través de la banda, cuando pasa por el elemento lector de memorias, el sistema recibe la información que contiene la memoria del contenedor, si esta información indica que el tipo de cojinete que lleva el contenedor ya no requiere ninguna operación o su destino es alguna máquina del siguiente centro de maquinado, se manda una señal al pistón neumático para que este se extienda y retire el contenedor de la banda colocándolo en la rampa de rodillos, para que posteriormente, por acción de la fuerza de gravedad, se deslice y se incorpore en la zona de almacenamiento de producto en proceso o en la zona para almacenar el producto terminado (se considera como producto terminado cuando el cojinete ya salió de la operación de aerobore), según el caso.

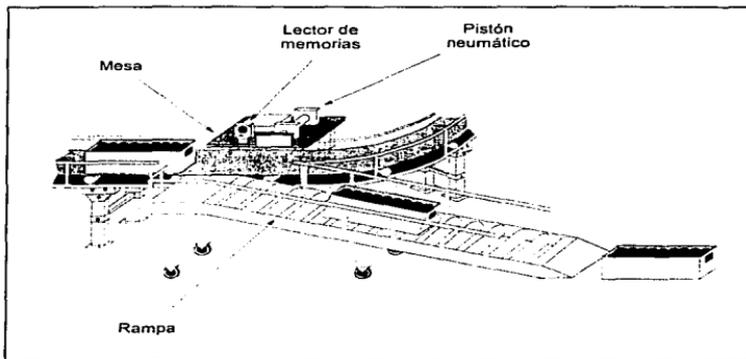


Figura 4.6 Dispositivo de descarga de contenedores.

Dispositivo manipulador de contenedores.- Este dispositivo tiene la función de retirar los contenedores llenos que viajan por la banda, para llevar su contenido a los elementos alimentadores de las máquinas que realizan las operaciones de chamfer, muesca, shaver y aerobore, es decir cada una de estas máquinas cuenta con un dispositivo de este tipo. El manipulador de contenedores está formado por un lector de memorias, un arreglo de tres pistones neumáticos, una mesa giratoria, dos mesas fijas y una rampa con rodillos e inclinación (ver anexo A).

La forma en que funciona este dispositivo es la siguiente: el contenedor viaja a través de la banda, cuando pasa por el elemento lector de memorias, el sistema recibe la información que contiene la memoria del contenedor, si esta información indica que el tipo de cojinete que lleva el contenedor requiere la operación que realiza la máquina a la que pertenece este dispositivo manipulador, el sistema manda una señal para que el primer pistón se extienda y retire el contenedor de la banda y lo coloque en la mesa giratoria, una vez que el contenedor se encuentra en esta mesa, un segundo pistón se extiende y acciona la parte superior de la mesa haciéndola girar junto con el contenedor vaciando los cojinetes que lleva en el alimentador de la máquina correspondiente (la mesa giratoria cuenta con un par de elementos que no permiten que el contenedor caiga en el momento de girar, permitiendo únicamente la caída de los cojinetes); una vez que el contenedor ha sido vaciado, el segundo pistón se retrae y deja a la mesa en su posición original, en ese momento se acciona un tercer pistón que se extiende para retirar el contenedor vacío de la mesa giratoria y colocarlo en la rampa inclinada para ser expulsado de este dispositivo.

El contenedor vacío se pone en forma manual a disposición del operario de la máquina más cercana, para ser llenado y grabado nuevamente.

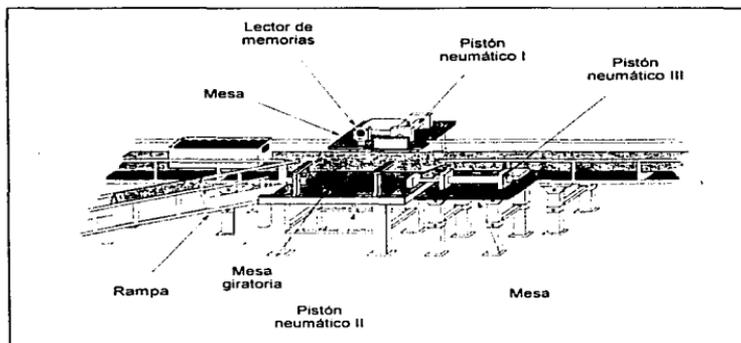


Figura 4.7 Dispositivo manipulador de contenedores.

Todos los dispositivos y elementos que integran el sistema de manejo de materiales están conectados a una serie de elementos informáticos que permiten interactuar con la computadora central logrando coordinar su óptimo funcionamiento.

En lo que respecta al almacenamiento, se consideran tres tipos de almacenes: el de materia prima, donde se colocan los rollos de cinta metálica; dos de producto en proceso, uno colocado entre el centro de maquinado de corte/estampado y formado y el centro de maquinado de chamfer y muesca, y el otro entre este centro y el centro de maquinado de shaver y aerobore; y por último, el almacén de producto terminado. Estos

almacenes funcionan en forma convencional, solamente son áreas donde se coloca en forma manual la materia prima que se requiere en el proceso. También se debe mencionar que existen almacenes temporales junto a las máquinas tanto de contenedores con producto en proceso como de contenedores vacíos dispuestos a ser utilizados. A través de los diversos elementos de control con que cuenta la maquinaria, el sistema de manejo de materiales y haciendo uso de los recursos informáticos, el sistema puede calcular la existencia de los diferentes tipos de cojinetes, así como su ubicación, ya sea en los almacenes de producto en proceso o en el de producto terminado.

El manejo del herramental será totalmente manual, sin embargo se considera desarrollar un programa que permita al almacén que tiene el control de los herramientas eficientar sus funciones de distribución y manejo de existencia de los herramientas.

Aseguramiento de Calidad

El sistema de manufactura analizado cuenta con estaciones de aseguramiento de calidad en la salida de cada operación. El operario de cada máquina realiza la inspección y medición de una muestra de las piezas que resultan de las operaciones, el registro de esta información también la realiza el operario llenando ciertos formatos preestablecidos que le permiten, en forma manual, construir gráficas de control que apoyan al control estadístico de proceso que se maneja en la empresa.

En los sistemas de manufactura flexible, se emplean dispositivos que realizan la medición e inspección de los productos o piezas en forma automática y en base a las tendencias o desviaciones que se detectan en

las mediciones, se generan correcciones y ajustes en las maquinarias y herramientas, también en forma automática.

Para el sistema de manufactura flexible propuesto se contempla utilizar instrumentos de medición que estén conectados a la red informática del sistema, con la finalidad de que los resultados de las mediciones se registren electrónicamente y se puedan comparar con los estándares de calidad establecidos para el producto en proceso, generando automáticamente gráficas de control y otros reportes estadísticos que permitan apoyar la toma de decisiones con respecto al comportamiento del proceso.

El sistema de aseguramiento de calidad utiliza un display en cada estación de inspección, el objetivo de este dispositivo es informar al operario a través de mensajes sobre los parámetros de ajuste que debe realizar sobre los instrumentos de medición, así como la frecuencia y tamaño de la muestra que se debe tomar según el tipo de cojinete que se esté manufacturando. También se utilizará un botón en cada estación con la función de que el operario registre el momento en que se termina la actividad de ajuste en los instrumentos de medición.

Con el uso de equipos de medición conectados al sistema se reducirán los errores que se pueden tener al leer los instrumentos y transcribir los valores de las mediciones en los formatos preestablecidos, el operario reducirá sus actividades en cuanto al aseguramiento de calidad, ya que únicamente ajustará los equipos según los requerimientos del sistema, y colocará en forma manual las piezas en los equipos sin necesidad de leer y tomar el valor que resulte de esta medición. También no tendrá que realizar las

gráficas de control, el sistema contará con la información necesaria para generarlas. Por otro lado, los datos estadísticos del desempeño del proceso apoyará al establecimiento de los programas de mantenimiento de maquinaria y regulación de los cambios de herramental.

Mantenimiento

El mantenimiento a toda la maquinaria y los equipos que forman el sistema de manufactura esta dividido en: preventivo y correctivo. Ambos estarán coordinados por el sistema pero sin llegar a la automatización de las acciones de reparación.

El mantenimiento preventivo se basa en el programa de mantenimiento periódico, el cual generará un reporte indicando el código de la máquina que corresponde, las fechas en las que se harán la inspección visual y el mantenimiento de la misma, las personas asignadas a dichas acciones y los dispositivos (eléctrico, mecánico, hidráulico y neumático) que se tienen que revisar y, en su caso, reparar. La inspección visual se continuará realizando tres semanas antes de la fecha programada para el mantenimiento preventivo y después de realizar dicho mantenimiento se alimentará al sistema para llevar un registro de las reparaciones realizadas, los tiempos de paro y las causas de falla.

La necesidad de mantenimiento correctivo se da cuando alguna máquina sufre un desperfecto imprevisto, por lo que el operador acciona un botón que produce una señal que el sistema traduce como la generación de una orden de mantenimiento para la máquina en cuestión. Un supervisor alimenta al sistema con la posible causa de la falla para que en la orden de mantenimiento se indique la reparación a efectuar, las refacciones

empleadas y el personal adecuado para dicha acción. Los resultados de la reparación también se alimentan al sistema para llevar un registro estadístico y poder complementar el mantenimiento preventivo para disminuir al máximo el correctivo.

En resumen, las actividades de mantenimiento se registrarán en forma electrónica, con la finalidad de coordinar estas actividades con los demás elementos que forman el sistema de manufactura flexible propuesto. Permitiendo censar la disponibilidad de la maquinaria en función de las actividades de mantenimiento, apoyando al establecimiento de los planes de producción.

Infraestructura Informática y de Comunicación

En los FMS el control de todos los elementos que forman el sistema se hace a través de la informática, haciendo uso de computadoras, redes informáticas, elementos de comunicación y programas (software). La computadora central permite coordinar armónicamente las variables que intervienen en el proceso, optimando el desempeño del área de manufactura. Cuando un sistema de manufactura esta totalmente automatizado, las decisiones, ajustes y cambios en el proceso productivo son controlados y supervisados por la computadora central. En el caso del sistema de manufactura flexible propuesto, no todas las actividades están automatizadas, por lo que el control del sistema estará a cargo de la computadora central y de los operarios y supervisores.

El computador central empleado será un servidor tipo RISC con sistema operativo Unix, disco duro de 4 GB, capacidad de crecimiento, memoria RAM de 512 MB y una velocidad de procesamiento superior o igual a 233

MHZ. En este servidor está la base de datos donde se almacena la información necesaria para hacer funcionar al sistema en forma integral.

También se considera el uso de otras computadoras que servirán como terminales donde se operaran los programas generados para los diferentes subsistemas con que cuenta el sistema de manufactura flexible. Serán computadoras personales con procesador Pentium a 233 MHZ, disco duro de 2 GB y memoria Ram de 64 MB.

La forma de enlazar físicamente la computadora central con las terminales, con los otros elementos del sistema de manufactura propuesto y con otros sistemas informáticos ajenos a este; será a través de una red informática del tipo Ethernet, con la cual se logra la transmisión óptima de los datos e información que se manejan en forma electrónica en toda la empresa. Es decir, esta red a parte de conectar a todos los elementos que integran el sistema de manufactura flexible, permite enlazarse con facilidad con cualquier sistema informático o aplicación existente en la empresa o cualquier otro que se genere en un futuro.

Los elementos terminales que emplea el sistema, como son los botones registradores de eventos, focos indicadores, instrumentos de medición, dispositivos de manejo de materiales, etc., no se conectan directamente a la red Ethernet, sino que requieren de otros dispositivos que permitan el control y la eficiente transmisión que se requiere entre las señales que generan los elementos terminales y las generadas por el computador central y las terminales. En el caso del control y comunicación de ciertos elementos terminales se emplean PLC's (siglas en el idioma inglés, Programmable Logical Control).

PLC's.- Como su nombre lo indica, son controladores lógicos programables, los cuales van a manejar las señales digitales y analógicas que se necesiten en cada centro de maquinado. Con este dispositivo se controlarán el funcionamiento de los elementos neumáticos de los dispositivos de carga, descarga y manipulación de contenedores; las señales transmitidas por los botones registradores de eventos; el control sobre el encendido y apagado de los focos indicadores; la información transmitida por los elementos contadores de piezas; y el control de los elementos alimentadores de materia prima de la maquinaria. En el caso de los elementos del sistema de manejo de materiales que requieren el uso de los dispositivos grabador/lector de memorias, se requiere emplear una red de independiente a la red Ethernet, para conectar estos dispositivos con los PLC's. Este tipo de red se emplea porque los dispositivos grabador/lector de memorias emplean el protocolo UniTelway, el cual es el que permite la transmisión de las información de estos dispositivos hacia los PLC's.

Para conectar los elementos terminales que no requieren de la red Unitelway a los PLC's se hace uso de un elemento conocido como Telefast, el cual es un dispositivo que se conecta directamente al PLC y evita el cableado individual de cada elemento hacia el PLC, se utiliza como una extensión de las entradas y salidas digitales y analógicas, colocándose en los centros de maquinado.

Otro elemento de comunicación que utiliza el sistema de manufactura es el Decserver, la descripción y uso de este elemento se presenta a continuación:

Decserver.- Este dispositivo es empleado para llevar a cabo en forma económica la comunicación entre los elementos generadores de mensajes y los instrumentos de medición con la computadora central a través de la red Ethernet. La particularidad que tiene los elementos antes mencionados es que requieren de un protocolo de comunicación especial (RS232), el Decserver es un elemento flexible, ya que permite concentrar y comunicar eficientemente mas de 30,000 caracteres por segundo.

Integración y Aplicaciones

Como lo hemos visto, el sistema de manufactura flexible propuesto está compuesto por elementos terminales, medios de comunicación, computadoras, etc., y el funcionamiento armónico entre todos estos elementos debe estar definido dentro de un ambiente común que produzca la integración del sistema en forma total. La integración es una parte fundamental para el funcionamiento de cualquier sistema, muchas veces sólo se busca satisfacer algunas necesidades básicas de integración, pero esto nos llevará a tener carencias en la coordinación de los elementos que forman el sistema, reduciendo la flexibilidad en su funcionamiento y produciendo un fuerte impacto económico dentro de la empresa, ya que la considerable inversión realizada en el diseño y desarrollo de un FMS no se recupera en el tiempo establecido y requerirá de una nueva inversión si es que se quiere salvar el proyecto. Por esta razones es importante contar con la herramienta de integración que permita cumplir las expectativas de diseño y desarrollo de un FMS.

La herramienta más avanzada de uso industrial esta relacionada en una infraestructura específica para proveer integración, llamada Framework (ver anexo B). Un Framework puede ser llamado habilitador de integración, el

cual provee un ambiente bien definido para solucionar los problemas de integración, administrando eficientemente a los elementos que conforman el sistema, proporcionando un camino de adaptabilidad y evolución constante.

Un Framework provee todos los servicios apropiados para la administración integral de las variables, datos, flujo de la información y programas que se generen para el sistema. Esta herramienta no impone innecesarias limitaciones al ambiente, permite la coexistencia de diferentes sistemas operativos y provee la administración de un ambiente distribuido cliente/servidor.

Para el sistema de manufactura propuesto se hace uso de los beneficios que proporciona el Framework, existen compañías especializadas en hardware y software que ofrecen en el mercado productos que cumplen con las características que brinda esta herramienta, por lo que se considera la adquisición de un producto comercial de este tipo, la selección de este producto esta en función costo/beneficio que el proveedor ofrezca. De acuerdo con experiencias actuales en el uso de ambientes de integración de este tipo, en aplicaciones de manufactura, se recomienda un producto en particular, BASEstar, el cual cumple con las características de funcionamiento que el sistema de manufactura flexible propuesto requiere.

Por otro lado, los sistemas de manufactura flexible requiere de programas adicionales para ciertos sistemas o subsistema que forma parte de un FMS. Estos programas son dedicados a ciertos elementos, como son el manejo de materiales y el aseguramiento de calidad. A estos programas junto con los dispositivos físicos que los integran se les conoce como aplicaciones.

Para el sistema de manufactura propuesto se consideran las siguientes aplicaciones: manufactura, manejo de materiales y almacenamiento, aseguramiento de la calidad y mantenimiento. El detalle de estas aplicaciones se hará más adelante.

Para el desarrollo de estas aplicaciones se hace uso de la Programación Orientada a Objetos (ver anexo C), este tipo de programación es relativamente nueva para diseñar e implementar sistemas de software. Su objetivo más importante es incrementar el alcance y la reutilización de los programas, así como el controlar la complejidad y costo de la actualización y mantenimiento de los mismos. Por otro lado, este tipo de programación permite que las aplicaciones generadas adaptarse con mayor grado de funcionalidad a la herramienta integradora BASEstar (Framework).

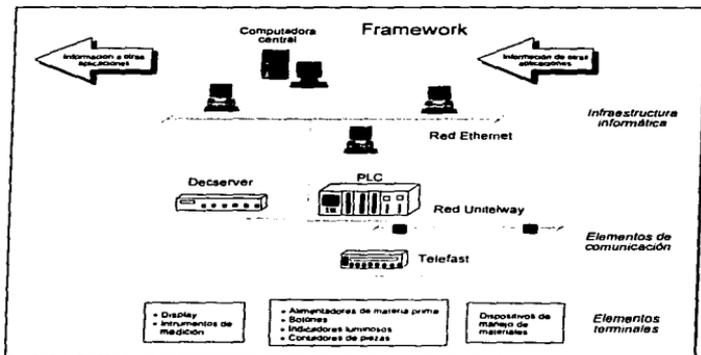


Figura 4.8 Arquitectura informática y de comunicaciones del FMS.

IV.4 DESARROLLO DEL FMS

Una vez que se ha diseñado el sistema de manufactura flexible y se conocen como se debe coordinar el funcionamiento de cada uno de los elementos que lo conforman se comienza a desarrollar el proyecto. En primera instancia se establecen los subsistemas o aplicaciones con que cuenta el sistema, delimitando las variables que intervienen en su funcionamiento para posteriormente comenzar a desarrollar los algoritmos y la programación que permitan manejar e interpretar los datos que se genera en los elementos terminales del sistema, para después ser procesados y transformados en información que a su vez es devuelta a los elementos terminales para llevar a cabo las acciones que el sistema demande, ya sea por medio del operario o a través de los dispositivos que operan en forma automática.

También se considera en el desarrollo de las aplicaciones la información que se recibe de otros sistemas, es el caso del sistema que integra el plan maestro de producción, ya que el sistema de manufactura flexible simplemente recibe la información sobre los volúmenes y mezclas de los tipos de cojinetes que se deben fabricar así como de los ajustes que se realizan. También recibe del área de diseño las especificaciones y tolerancias de cada tipo de cojinete y de los almacenes e inventarios las existencias en materiales de consumo y refacciones que se requieren para la maquinaria y equipos. De igual modo el sistema proporciona información a las demás áreas de la empresa, por ejemplo, el departamento de ventas puede conocer en forma oportuna y veraz las existencias de producto terminado de cada tipo de cojinete, así como las existencias y condiciones del producto en proceso.

Aplicaciones del FMS

El sistema de manufactura flexible propuesto esta formado por las siguientes aplicaciones:

- Manufactura.
- Manejo de Materiales y Almacenamiento.
- Aseguramiento de Calidad.
- Mantenimiento.

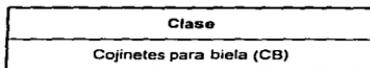
Para definir y delimitar las variables y elementos que intervienen en las aplicaciones se hace uso de los conceptos de programación orientada a objetos.

Uso de la Teoría de Programación Orientada a Objetos

La utilización de los objetos en el sistema de manufactura se debe principalmente a las ventajas que ofrece este tipo de programación; con esta herramienta se define cada elemento y variable del proceso como un objeto tomando en cuenta las consideraciones de diseño que se plantearon anteriormente.

Producto

La familia de cojinetes la definiremos como "clase CB" con 24 instancias diferentes, 6 para equipo original y 18 para refacción Clemex.



Instancias			
Equipo Original	Refacción Clemex		
A1	RA1x	RA1y	RA1z
A2	RA2x	RA2y	RA2z
A3	RA3x	RA3y	RA3z
B1	RB1x	RB1y	RB1z
B2	RB2x	RB2y	RB2z
B3	RB3x	RB3y	RB3z

Donde cada instancia hereda los atributos de la clase CB asignándoles diferentes valores según la instancia. Estos atributos se muestran en la siguiente tabla:

Atributos	Clave
Longitud de tira	CB-1
Ancho de tira	CB-2
Estampado	CB-3
Espesor total	CB-4
Espesor de acero	CB-5
Paralelismo del acero y la aleación	CB-6
Altura de línea de partición	CB-7
Curvatura (asentamiento en el block)	CB-8
Altura total	CB-9
Chafanes interiores	CB-10
Chafanes exteriores	CB-11
Saliente de la muesca (altura)	CB-12
Ancho de muesca	CB-13
Longitud de muesca	CB-14
Paralelismo	CB-15
Meecedora	CB-16
Chafanes en extremos	CB-17
Espesor de pared	CB-18
Conicidad	CB-19
Excentricidad	CB-20
Relief	CB-21
Acabado micró	CB-23
Número de piezas a producir	CB-24

Los valores de los atributos de la tabla anterior, exceptuando la última, representan las dimensiones y características físicas de diseño que deben cumplir los elementos de la familia de cojinetes (instancias de la clase CB) considerada. Se debe mencionar que los valores de los atributos que representan dimensiones, contienen sus respectivas tolerancias de acuerdo a los estándares de calidad que se manejan en la empresa. La última instancia representa la cantidad de piezas que se debe producir del tipo de cojinete en cuestión dentro del periodo considerado. El valor de la última instancia se toma del plan maestro de producción y los diferentes valores para los tipos de cojinetes considerados, nos permite formar las mezclas ha producir dentro del sistema de manufactura flexible propuesto.

Maquinaria

Todos los centros de maquinado forma la "clase maquinaria". Las instancias de esta clase están dadas por las operaciones que se realizan en cada uno de estos centros de maquinado. Por tanto, las instancias de esta clase serán:

Clase	
Maquinaria (MA)	

Instancias	
Corte y Estampado	MA1
Formado	MA2
Chamfer	MA3
Muesca	MA4
Shaver	MA5
Aerobore	MA6

Donde cada instancia hereda los atributos de la clase maquinaria asignándoles diferentes valores según la instancia. Estos atributos se muestran en la siguiente tabla:

Atributos	Clave
Código de la maquinaria	MA-1
Estatus de funcionamiento	MA-2
Num. piezas producidas	MA-3

Estos atributos hacen referencia a cada una de las maquinarias, su estado de funcionamiento y el número de piezas que se están produciendo del tipo de CB en proceso.

Equipos para Manejo de Materiales

El equipo de manejo de materiales forma otra clase que tomará el nombre de "clase equipo". Las instancias de esta clase se presentan en la siguiente tabla:

Clase
Equipo (E)

Instancias	
Banda transportadora	E1
Dispositivo grabador/lector	E2
Manipulador de contenedores	E3
Dispositivo de descarga	E4
Dispositivo de carga	E5

Donde cada instancia hereda los atributos de la clase maquinaria asignándoles diferentes valores según la instancia. Estos atributos se muestran en la siguiente tabla:

Atributos	Clave
Código de equipo	E-1
Estatus de funcionamiento	E-2

Etapas del Proceso

Las etapas del proceso (corte/estampado, formado, chamfer, muesca, shaver y aerobore), descritas en el capítulo anterior, las llamaremos operaciones. Por lo tanto, se define la "clase operaciones" con 6 instancias.

Clase	
Operaciones (O)	
Instancias	
Corte y Estampado	O1
Formado	O2
Chamfer	O3
Muesca	O4
Shaver	O5
Aerobore	O6

Donde cada instancia hereda los atributos de la clase operaciones asignándoles diferentes valores según la instancia. Estos atributos se muestran en la siguiente tabla:

Atributos	Clave
Identificación de herramental	O-1
Ajuste de herramental	O-2
Revisión de herramental	O-3
Alimentación de materia prima	O-4

Los atributos de las instancias de la clase operaciones, representan las actividades que se deben realizar en los centros de maquinado para llevar a cabo la fabricación de un cierto tipo de cojinete.

Aseguramiento de la Calidad

Como se describió en el capítulo anterior, cada centro de maquinado cuenta con una estación de medición e inspección de las dimensiones y características del producto. Por lo tanto, se define al aseguramiento de calidad como la "clase calidad". La cual presenta 6 instancias, una para cada operación.

Clase	
Calidad (C)	
Instancias	
Corte y Estampado	C1
Formado	C2
Chamfer	C3
Muesca	C4
Shaver	C5
Aerobore	C6

Las instancias heredaran atributos que son comunes y se les adjudican atributos particulares para cada instancia de acuerdo al tipo específico de operación. Por lo tanto, los atributos de las instancias de la clase calidad son:

Corta/Estampado (C1)	
Atributos	Clave
Longitud de tira	C1-1
Ancho de tira	C1-2
Estampado	C1-3
Espesor total	C1-4
Espesor de acero	C1-5
Ajuste del equipo de medición	C1-6
Tamaño y frecuencia de la muestra	C1-7

Formado (C2)	
Atributos	Clave
Paralelismo del acero y la aleación	C2-1
Altura de línea de partición	C2-2
Curvatura (asentamiento en el block)	C2-3
Ajuste del equipo de medición	C2-4
Tamaño y frecuencia de la muestra	C2-5

Chamfer (C3)	
Atributos	Clave
Altura total	C3-1
Chañanes interiores	C3-2
Chañanes exteriores	C3-3
Ajuste del equipo de medición	C3-4
Tamaño y frecuencia de la muestra	C3-5

Muesca (C4)	
Atributos	Clave
Saliente de la muesca (altura)	C4-1
Ancho de muesca	C4-2
Longitud de muesca	C4-3
Ajuste del equipo de medición	C4-4
Tamaño y frecuencia de la muestra	C4-5

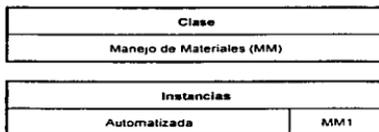
Shaver (C5)	
Atributos	Clave
Altura de línea de partición	C5-1
Paralelismo	C5-2
Mecedora	C5-3
Chafalanes en extremos	C5-4
Ajuste del equipo de medición	C5-5
Tamaño y frecuencia de la muestra	C5-6

Aerobore (C6)	
Atributos	Clave
Espesor de pared	C6-1
Conicidad	C6-2
Excentricidad	C6-3
Relief	C6-4
Acabado micro	C6-5
Ajuste del equipo de medición	C6-6
Tamaño y frecuencia de la muestra	C6-7

Los atributos de las instancias de la clase calidad representan los valores que se obtienen de los instrumentos y equipos de medición en cada una de las estaciones de medición e inspección de los centros de maquinado.

Manejo de Materiales y Almacenamiento

El manejo de materiales para el sistema de manufactura propuesto se llevará cabo por medio de manipulación manual y a través de dispositivos automáticos. La manipulación manual no se conceptualiza como objeto, por tanto, se define la "clase manejo de materiales", con una sola instancia.



Los atributos de la instancia de la clase manipulación son:

Atributos	Clave
Origen	MM-1
Destino	MM-2

Los valores de estos atributos representan el código de la máquina donde se le realizó la última operación al cojinete (origen) y donde se le realizará la siguiente operación (destino) o el almacén donde debe esperar a ser atendido.

Para los almacenes de materia prima, producto en proceso y producto terminado, se contempla su funcionamiento en forma convencional, sin embargo, el sistema es capaz, a través de los demás elementos y las variables que estos manejan, de determinar la existencia y localización de los tipos de cojinetes en proceso.

En lo que respecta al almacén de herramientas, el sistema controla los requerimientos interactuando con la parte de esta aplicación que se encarga de controlar las entradas y salidas de herramientas.

Mantenimiento

Se contempla el mantenimiento de la maquinaria y equipo del sistema de manufactura flexible propuesto. Se define la "clase mantenimiento", la cual consistirá de dos instancias, preventivo y correctivo.

Clase
Mantenimiento (M)

Instancias	
Preventivo	M1
Correctivo	M2

Las instancias heredaran atributos que son comunes y se les adjudican atributos particulares para cada instancia por tipo específico de mantenimiento. Por lo tanto, los atributos de las instancias de esta clase son:

Preventivo (M1)	
Atributos	Clave
Código de maquinaria o equipo	M1-1
Fecha de inspección visual	M1-2
Fecha de actividades de rutina	M1-3
Acciones en sistema eléctrico	M1-4
Acciones en sistema mecánico	M1-5
Acciones en sistema hidráulico	M1-6
Acciones en sistema neumático	M1-7
Personal asignado	M1-8
Refacciones	M1-9

Correctivo (M1)	
Atributos	Clave
Código de maquinaria o equipo	M1-1
Trabajo solicitado	M1-2
Causa probable	M1-3
Reparación efectuada	M1-4
Refacciones	M1-5
Personal asignado	M1-6
Tiempo total de paro	M1-7

Estos atributos representan las condiciones y acciones que se deben tomar para realizar el mantenimiento de la maquinaria y equipos.

Una vez que se han definido los objetos, instancias y atributos que intervienen en el sistema de manufactura, y haciendo uso de las consideraciones y diseño del sistema, se desarrollan las aplicaciones. Se deben mencionar que todas las aplicaciones trabajan dentro del ambiente integrado que brinda el Framework, apoyando en la toma de decisiones en los puntos críticos de la transformación de la materia prima, contando con información de todos los elementos que conforman el sistema de manufactura en tiempo real y de forma consistente.

Aplicación de Manufactura

Básicamente la aplicación de manufactura, a partir de la información que recibe de los planes de producción, optimiza la asignación de la maquinaria donde se procesarán los diferentes volúmenes y tipos de cojinete que se demanden, la flexibilidad de esta aplicación radica en poder tomar la decisión de cambiar la asignación del flujo de materiales dentro de los centros de maquinado en base a los datos que recibe de los elementos que la conforman y al intercambio de información con las otras aplicaciones y con los operarios y supervisores.

Los recursos humanos y elementos que conforman esta aplicación son:

- Operarios y maquinaria (un operario por máquina)
- Elementos terminales
 - Contador de piezas
 - Botones
 - Generadores de mensajes (display)
 - Indicadores luminosos

- Elementos de comunicación y control
 - * PLC
 - * Telefast
 - * Decserver
- Programa o software de la aplicación
- Computadora (terminal)

El funcionamiento de esta aplicación se describe en base a las diferentes etapas del proceso.

Corte/estampado

1. De acuerdo a las instancias de la clase CB y del resultado del proceso de asignación de la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado (generado por el software de la aplicación), el sistema decide con que tipo de cojinete y con cual línea del centro de maquinado en uso (de la instancia MA1 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1) se comenzará el proceso.
2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O1 de la clase operaciones).
4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA1 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.

5. Se realiza la operación de corte/estampado.
6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA1 de la clase maquinaria.

Formado

1. Debido a que la operación anterior y la operación de formado se consideraron como una sola, bajo las condiciones de diseño del sistema de manufactura expuestas anteriormente, el proceso continúa manufacturando la misma instancia de la clase CB en la línea del centro de maquinado en uso, sólo que ahora en la máquina de formado (de la instancia MA2 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1).
2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O2 de la clase operaciones).
4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA2 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.
5. Se realiza la operación de formado.
6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA2 de la clase maquinaria.

Chamfer

1. De acuerdo a las instancias de la clase CB y del resultado del proceso de asignación de la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado, el sistema decide con que tipo de cojinete y con cual línea del centro de maquinado en uso (de la instancia MA3 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1) se continuará el proceso.
2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O3 de la clase operaciones).
4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA3 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.
5. Se realiza la operación de chamfer.
6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA3 de la clase maquinaria.

Muesca

1. De acuerdo a las instancias de la clase CB y del resultado del proceso de asignación de la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado, el sistema decide con que tipo de cojinete y con cual línea del centro de maquinado en uso (de la instancia MA4 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1) se continuará el proceso.

2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O4 de la clase operaciones).
4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA4 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.
5. Se realiza la operación de muesca.
6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA4 de la clase maquinaria.

Shaver

1. De acuerdo a las instancias de la clase CB y del resultado del proceso de asignación de la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado, el sistema decide con que tipo de cojinete y con cual línea del centro de maquinado en uso (de la instancia MA5 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1) se continuará el proceso.
2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O5 de la clase operaciones).

4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA5 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.
5. Se realiza la operación de shaver.
6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA5 de la clase maquinaria.

Aerobore

1. De acuerdo a las instancias de la clase CB y del resultado del proceso de asignación de la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado, el sistema decide con que tipo de cojinete y con cual línea del centro de maquinado en uso (de la instancia MA6 de la clase maquinaria, el valor del atributo MA-1) se terminará el proceso.
2. La aplicación envía información al display de la máquina en cuestión (valor que toma atributo MA-1).
3. El display indica que tipo de cojinete se va a procesar (instancia de la clase CB en proceso) y la preparación que necesita la máquina para llevar a cabo la operación (los valores de los atributos de la instancia O6 de la clase operaciones).
4. El operario realiza la preparación de la máquina y se lo hace saber a la aplicación (valor del atributo MA-2 de la instancia MA6 de la clase maquinaria). La aplicación genera la señal para encender el foco de color verde.
5. Se realiza la operación de aerobore.

6. Entra en funcionamiento el contador de piezas de la máquina en cuestión, y el sistema registra estos valores a través del atributo de la instancia CB en proceso con el atributo MA-3 de la instancia MA6 de la clase maquinaria.

Cambios y ajustes a la aplicación

- Si existe cambio de producto, la aplicación lo manifiesta a través de un mensaje en el display, este mensaje se genera al comparar el valor programado del atributo CB-24 del cojinete en proceso y el valor que el sistema registre del contador de piezas (atributo MA-3 de la instancia en cuestión de la clase maquinaria); es decir, si al hacer esta comparación se registra que se cumplió el volumen programado para el CB en proceso, se genera el mensaje de cambio de producto. Bajo el plan de producción se continua el proceso a partir de la actividad número 2.
- Si se presenta alguna falla en la máquina, provocando un paro de la misma, el operario lo registra a través del botón asignado para este problema (valor del atributo MA-2 de la instancia en cuestión de la clase maquinaria), se enciende el foco rojo y se apaga el verde. La aplicación de manufactura comparte esta información con la aplicación de mantenimiento, lo cual determina la acción a seguir. Si el resultado indica que la máquina estará parada un tiempo que no afecte significativamente al sistema en forma global, simplemente se esperará a que el operario indique, a través del botón de término de actividad, que la máquina está lista para seguir con el proceso (valor del atributo MA-2 de la instancia en cuestión de la clase maquinaria), encendiéndose el foco verde y apagándose el rojo.

Por lo contrario, si la máquina se queda parada un tiempo mayor, se busca reasignar la operación, haciendo uso de la información y del software con que dispone la aplicación, buscando continuar con el proceso, y en dado caso de que otra de las máquina que realiza la operación en cuestión este preparada para el tipo de CB que se procesa en la máquina parada, se completará el orden de producción en la máquina seleccionada, reordenando la ruta que seguirán los cojinetes a través de los centros de maquinado. Si no se puede asignar otra máquina para continuar con el proceso, la aplicación busca una nueva ruta a seguir con la finalidad de continuar optimizando el cumplimiento del plan de producción.

- En dado caso de existir un cambio en el plan de producción debido a variaciones en la demanda de los producto, la aplicación se alimentará con la nueva información del plan de producción por medio de la terminal asignada a esta y se obtendrá la nueva ruta que seguirá el proceso.

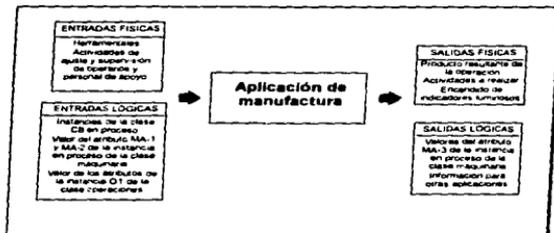


Figura 4.9 Esquema Lógico de la Aplicación de Manufactura.

Aplicación Manejo de Materiales y Almacenamiento

Esta aplicación se encarga de llevar la materia prima a los procesos o lugares que el sistema de manufactura demande. Permite tener perfectamente localizados a los diferentes tipos de cojinetes durante las etapas del proceso en el transporte y almacenamiento.

La aplicación de manejo y almacenamiento interacciona coordinadamente con la aplicación de manufactura, el plan maestro de producción y el sistema que maneja las existencias de cinta metálica (externos al sistema de manufactura propuesto) y con el sistema en general. La aplicación también contempla la distribución manual y el manejo del almacén de herramientas.

Los recursos humanos y elementos que conforman esta aplicación son:

- Operarios de las máquinas, encargado del almacén de herramientas y personal de apoyo
- Recipientes convencionales y contenedores con memorias
- Bandas transportadoras
- Elementos terminales
 - * Generadores de mensajes (display)
 - * Dispositivo de grabador/lector de memorias
 - * Dispositivo de carga de contenedores
 - * Dispositivo manipulador de contenedores
 - * Dispositivo de descarga de contenedores
- Elementos de comunicación y control
 - * PLC

- Telefast
- Decserver
- Programa o software de la aplicación
- Computadora (terminal)

La descripción del funcionamiento de esta aplicación esta en función de los centros de maquinado con que cuenta el sistema de manufactura flexible.

Centro de maquinado de corte/estampado y formado

1. La mayor parte del manejo de materiales en este centro de maquinado se realiza en forma manual.
2. En base a la instancia de CB en proceso y al plan maestro de producción, el sistema genera la orden de materia prima (cinta metálica).
3. El display del dispositivo alimentador de la máquina correspondiente (valor del atributo MA-1 de la instancia MA1 de la clase maquinaria), despliega el mensaje del tipo de cinta metálica que se requiere para el CB en proceso. El tipo de cinta metálica que requiere el proceso, lo toma la aplicación de la base de datos del sistema, que relaciona la instancia de la clase CB con el tipo de cinta metálica que se requiere. Es decir el tipo de cinta metálica está en función del tipo de cojinete.
4. Un trabajador de apoyo coloca manualmente el rollo de cinta metálica en el alimentador de la máquina correspondiente haciendo uso del polipasto.
5. El producto resultante de la máquina que realizó la operación de corte/estampado se recibe en un recipiente y una vez que este lleno,

manualmente el operario vierte su contenido en el sistema de alimentación de la máquina que realizará la operación de formado.

6. Un trabajador de apoyo coloca en forma manual un contenedor con memoria en el dispositivo grabador/lector de la máquina de forma que lo requiera, accionando se el botón que pone en funcionamiento el elemento grabador/lector.
7. El dispositivo grabador/lector censa la correcta colocación del contenedor, encendiéndose el foco indicador, así como, el correcto funcionamiento de la memoria.
8. Se comienza a llenar el contenedor con el producto resultante de la máquina de formado y el dispositivo grabador/lector registra en la memoria del contenedor con la información que requiere (valores de los atributos de la instancia de la clase manejo de materiales). El código del dispositivo grabador/lector (valor del atributo E-1 de la instancia E2 de la clase equipo) está en función del código de la maquinaria correspondiente (valor del atributo MA-1 de la instancia MA2 de la clase maquinaria),
9. Una vez que se ha llenado un contenedor, un trabajador de apoyo lo retira, y lo sustituye por un contenedor vacío.
10. Se repiten las actividades 6, 7 y 8. Para el nuevo contenedor.
11. El contenedor lleno, es llevado al almacén de producto en proceso o directamente al dispositivo de carga (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo), este valor está en función del código de la banda

transportadora correspondiente, en este caso, la banda num. 1 (valor del atributo E-1 de la instancia E1 de la clase equipo).

Centro de maquinado de chamfer y muesca

1. Un trabajador coloca en forma manual un contenedor en el dispositivo de carga de la banda num. 1.
2. El dispositivo de carga de la banda num. 1 (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo) lee la información que lleva la memoria del contenedor (valores de los atributos de la instancia de la clase manipulación).
3. El dispositivo de carga, en base a la información leída, manda un mensaje de aceptación si es el contenedor que espera el sistema, de lo contrario, el dispositivo de carga acciona la compuerta y no deja ingresar al contenedor a la banda. Esto también ocurre si el contenedor no se coloca en la forma correcta.
4. Estando el contenedor moviéndose en la banda num. 1, pasa por los dispositivos manipuladores de contenedores en espera de ser atendido (valores del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo, valores en función del código de la máquina correspondiente, valores del atributo M-1 de las instancias M3 de la clase maquinaria).
5. Si el valor del atributo MM-2 de la instancia de la clase manejo de materiales, corresponde al dispositivo de manipulación de contenedores (valor del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo) perteneciente a la máquina de chamfer correspondiente (valor del atributo MA-1 de las

- instancias MA3 de la clase maquinaria), se acciona dicho dispositivo (valor del atributo E-2 de la instancia E4 de la clase equipo).
6. Si llega otro contenedor al dispositivo manipulador de contenedores en funcionamiento (valor del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo), el valor del atributo E-2 de la instancia E4 de la clase equipo determina que no se puede hacer uso de este dispositivo, y el contenedor en cuestión da otra vuelta en la banda hasta que puede ser atendido.
 7. El operario de la máquina de chamfer coloca en forma manual un contenedor con memoria (vacío) en el dispositivo grabador/lector (valor del atributo E-1 de la instancia E2 de la clase equipo) de la máquina de chamfer en uso (valor del atributo MA-1 de las instancias MA3 de la clase maquinaria), accionando se el botón que pone en funcionamiento el elemento grabador/lector.
 8. El dispositivo grabador/lector censa la correcta colocación del contenedor (encendiéndose el foco indicador), así como el correcto funcionamiento de la memoria.
 9. Se comienza a llenar el contenedor con el producto resultante de la máquina de chamfer y el dispositivo grabador/lector registra en la memoria del contenedor la información que requiere para continuar (valores de los atributos de la instancia de la clase manejo de materiales).
 10. Cuando el contenedor se llena el operario toma un contenedor vacío y lo coloca en lugar del contenedor lleno, repitiéndose la actividad anterior.

11. El contenedor lleno, es colocado directamente por el operario en el dispositivo de carga (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo), este valor está en función del código de la maquinaria correspondiente de chamfer (valor del atributo MA-1 de la instancia MA3 de la clase maquinaria).
12. El dispositivo de carga de la máquina de chamfer correspondiente (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo) lee la información que lleva la memoria del contenedor (valores de los atributos de la instancia de la clase manipulación).
13. El dispositivo de carga, en base a la información leída, manda un mensaje de aceptación, si es el contenedor que espera el sistema, de lo contrario, el dispositivo de carga acciona la compuerta y no deja ingresar al contenedor a la banda. Esto también ocurre si el contenedor no se coloca en la forma correcta.
14. Estando el contenedor moviéndose en la banda num. 1 pasa por los dispositivos manipuladores de contenedores en espera de ser atendido (valores del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo, valores en función del código de la máquina correspondiente, valores del atributo M-1 de las instancias M4 de la clase maquinaria).
15. Si el valor del atributo MM-2 de la instancia de la clase manejo de materiales, corresponde al dispositivo de manipulación de contenedores (valor del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo) perteneciente a la máquina de muesca correspondiente (valor del atributo MA-1 de las

instancias MA4 de la clase maquinaria), se acciona dicho dispositivo (valor del atributo E-2 de la instancia E4 de la clase equipo).

16. Si llega otro contenedor al dispositivo manipulador de contenedores en funcionamiento (valor del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo), el valor del atributo E-2 de la instancia E4 de la clase equipo determina que no se puede hacer uso de este dispositivo, y el contenedor en cuestión da otra vuelta en la banda hasta que puede ser atendido.
17. El operario de la máquina de muesca coloca en forma manual un contenedor con memoria (vacío) en el dispositivo grabador/lector (valor del atributo E-1 de la instancia E2 de la clase equipo) de la máquina de muesca en uso (valor del atributo MA-1 de las instancias MA4 de la clase maquinaria), accionando se el botón que pone en funcionamiento el elemento grabador/lector.
18. El dispositivo grabador/lector censa la correcta colocación del contenedor, encendiéndose el foco indicador, así como, el correcto funcionamiento de la memoria.
19. Se comienza a llenar el contenedor con el producto resultante de la máquina de muesca y el dispositivo grabador/lector registra en la memoria del contenedor con la información que requiere (valores de los atributos de la instancia de la clase manejo de materiales).
20. Cuando el contenedor se llena el operario toma un contenedor vacío y lo coloca en lugar del contenedor lleno, repitiéndose la actividad anterior.

21. El contenedor lleno es colocado directamente por el operario en el dispositivo de carga (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo), este valor está en función del código de la maquinaria correspondiente (valor del atributo MA-1 de la instancia MA4 de la clase maquinaria).
22. El dispositivo de carga de la máquina de muesca correspondiente (valor del atributo E-1 de la instancia E3 de la clase equipo) lee la información que lleva la memoria del contenedor (valores de los atributos de la instancia de la clase manipulación).
23. El dispositivo de carga, en base a la información leída, manda un mensaje de aceptación, si es el contenedor que espera el sistema, de lo contrario, el dispositivo de carga acciona la compuerta y no deja ingresar al contenedor a la banda. Esto también ocurre si el contenedor no se coloca en la forma correcta.
24. Estando el contenedor moviéndose en la banda num. 1 y ya no requiere otra operación en este centro de maquinado, entra en funcionamiento el dispositivo de descarga.
25. Si el valor del atributo MM-2 de la instancia de la clase manejo de materiales, corresponde al código de un dispositivo manipulador (valor del atributo E-1 de la instancia E4 de la clase equipo) perteneciente a una máquina del siguiente centro de maquinado (valor del atributo MA-1 de las instancias MA5 y MA6 de la clase maquinaria), se activa el dispositivo de descarga (valor del atributo E-2 de la instancia E5 de la clase equipo)

correspondiente a la banda num. 1 (valor del atributo E-1 de la instancia E1 de la clase equipo).

26. El contenedor es retirado de la banda num. 1 e incorporado al segundo almacén de producto en proceso.

Centro de maquinado de shaver y aerobore

Este centro de maquinado manejará las mismas actividades que el centro de maquinado anterior, solamente que se manejan diferentes valores para los atributos de las instancias de la clase equipos, correspondientes a los valores de los atributos de las instancias de shaver y aerobore (MA5 y MA6) de la clase maquinaria y la banda transportadora num. 2 (valor del atributo E-1 de la instancia E1 de la clase equipo). El valor del atributo MM-2 de la instancia de la clase manejo de materiales registrará en la memoria de los contenedores empleados por el dispositivo grabador/lector de memorias (valor del atributo E-1 de la instancia E2 de la clase equipo) corresponderá a una máquina que realice la operación de shaver, posteriormente tomará el valor para corresponder con una máquina de aerobore y por último, el valor será nulo, de tal manera que entre en funcionamiento el dispositivo de descarga de la banda num. 2, para llevar al contenedor con memoria al almacén de producto terminado.

Ajustes y cambios en la aplicación

Los ajuste y cambios que se presenten en la aplicación de manejo de materiales y almacenamiento están en función de los ajustes en las rutas a seguir por los diferentes tipos de cojinetes que forma el plan de producción, es decir, esta aplicación depende de lo que pase en los ajuste y cambios que regula la aplicación de manufactura.



Figura 4.10 Esquema lógico del manejo de materiales.

En cuanto al almacenamiento, la aplicación puede determinar en todo momento la ubicación y cantidad de una determinada instancia de CB a través de los diferente almacenes que se manejan en el proceso. Este cálculo se base en el monitoreo que puede hacer el sistema sobre el cumplimiento de los programas de producción, al valor que tome el atributo CB-24 de las instancias CB (número de piezas registradas por el contador de cada máquina) y las operaciones que se han realizado y se realizarán a cada instancia CB en proceso.

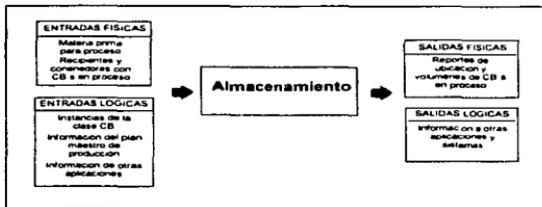


Figura 4.11 Esquema lógico del almacenamiento.

En lo que se refiere al almacén de herramientas, la aplicación cuenta con un programa que controla las existencias y requerimiento de herramientas que el sistema demanda a través de la aplicación de manufactura. Este programa es manejado por el personal a cargo del almacén, teniendo el objetivo de sistematizar y eficientar los requerimientos y cambios en los herramientas.

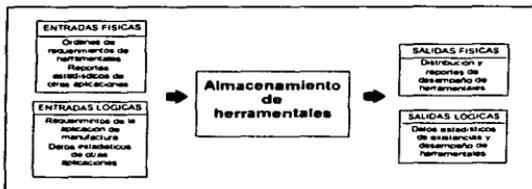


Figura 4.12 Esquema lógico del almacenamiento de herramientas

Aplicación de Aseguramiento de Calidad

Cada máquina que se emplea en el proceso cuenta con una estación de aseguramiento de la calidad, los equipos de medición se conectan a esta aplicación a través del Decserver, el cual registra las señales analógicas de los instrumentos de medición y las convierte en señales digitales que proporcionarían la información necesaria para llevar a cabo el control estadístico de proceso, permitiendo construir en forma automática las gráficas de control. De igual manera, interpreta dichas gráficas y apoya la determinación de las acciones correctivas.

Los recursos humanos y elementos que conforman esta aplicación son:

- Operarios de las máquinas, supervisor de aseguramiento de la calidad
- Elementos terminales
 - * Instrumentos de medición
 - * Botón registrador de termina de actividad
- Elementos de comunicación y control
 - * PLC
 - * Telefast
 - * Decserver
- Programa o software de la aplicación
- Computadora (terminal)

El funcionamiento de esta aplicación es igual en cada estación de aseguramiento de calidad perteneciente a cada máquina del proceso, solamente se cambian los valores que toman los atributos de las instancias de la clase CB y de los atributos de las instancias de la clase calidad.

1. De acuerdo a la instancia de la clase CB en proceso, el sistema manda un mensaje a través del Decserver hacia el display para indicar los parámetros de ajuste del equipo de medición así como el tamaño y la frecuencia de la muestra (valores de los atributos correspondientes de la instancia de la clase calidad que represente la operación en cuestión).
2. El operario ajusta el equipo de medición y registra la terminación de la actividad a través del botón destinado a ello.
3. El operario comienza a tomar las mediciones indicadas según la instancia de la clase calidad, para dar valor a los atributos correspondientes.
4. La aplicación monitorea el resultado de las mediciones.

5. Compara el resultado de las mediciones con los estándares de calidad registrados en la base de datos (valores de los atributos correspondientes de la instancia de la clase CB en proceso).
6. En forma interna el sistema transmite una señal a la aplicación de manufactura para informar del adecuado desempeño del proceso, o en su caso, solicita la acción correctiva.
7. El sistema manda un mensaje a través del Decserver al display para indicarle al operario las acciones a seguir.
8. La aplicación genera los reportes y gráficos necesarios para el análisis periódico del desempeño del proceso. Esta información es recabada y analizada por el supervisor, haciendo uso de la terminal y el software con que cuenta esta aplicación.

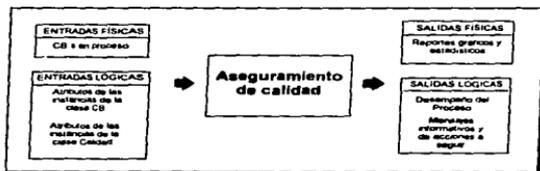


Figura 4.13 Esquema lógico del aseguramiento de calidad.

Aplicación de Mantenimiento

La aplicación de mantenimiento es básicamente un programa o software que se alimenta de la información que generan las demás aplicaciones del sistema, así como con información de los sistemas externos con que cuenta la empresa. Los elementos que conforma esta aplicación se describen a continuación:

- Supervisor
- Programa o software de la aplicación
- Computadora (terminal)

Esta aplicación sistematiza las rutinas de mantenimiento preventivo con que cuenta la empresa actualmente, solamente que ahora se incorporan los nuevos elementos y equipos que conforman el sistema de manufactura flexible. Por medio de los valores que toman los atributos de la instancia preventivo de la clase mantenimiento, se programan y controlan las rutinas de mantenimiento preventivo registrando y almacenando datos estadísticos sobre estas actividades, también el sistema recibe información de las aplicaciones de aseguramiento de calidad y manufactura con la finalidad de replantear sistemáticamente las rutinas de mantenimiento y lograr optimar las actividades de mantenimiento preventivo.



Figura 4.14 Esquema lógico del mantenimiento preventivo.

En cuanto al mantenimiento correctivo, cada elemento que conforma el sistema de manufactura tiene un código de identificación y según la aplicación se monitorea su funcionamiento, en el caso de las máquinas, el

operario registra las fallas a través de una señal que emite un botón, la aplicación de manufactura solicita en forma electrónica la inspección correspondiente que determina las acciones correctiva que se han de llevar a cabo para solucionar eficientemente la problemática que se presente. La aplicación de manufactura registra el tiempo de paro por falla en las máquinas y para evitar incongruencias con el área de mantenimiento, el atributo M1-7 de la instancia correctiva de la clase mantenimiento tomará el tiempo que registra la aplicación de manufactura. De igual manera que en la parte de mantenimiento preventivo, se llevan estadísticos de las actividades correctivas con la finalidad de optimar las rutinas y actividades de mantenimiento, tanto en forma preventiva como correctiva.

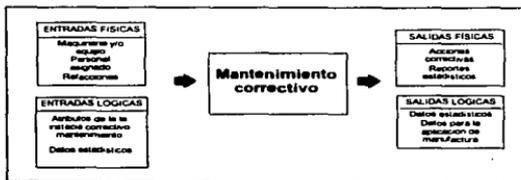


Figura 4.14 Esquema lógico del mantenimiento correctivo.

Integración de las Aplicaciones del FMS

Como se ha visto hasta ahora, las aplicaciones comparten en todo momento información entre ellas mismas y con otros sistemas externos al FMS propuesto.

La forma en integrar las elementos que conforman el sistema de manufactura es a través de un producto comercial, BASEstar, perteneciente a una importante compañía internacional de software y hardware. Este producto proporciona las características funcionales de un Framework, herramienta que nos permite lograr eficientemente la coordinación armónica de todos los elementos que conforman el sistema de manufactura.

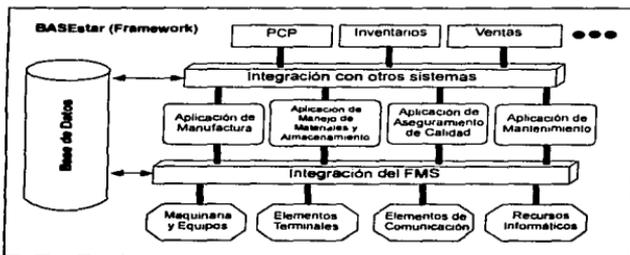


Figura 4.16 Esquema de Integración del FMS.

En el figura 4.16 se muestra el diagrama que representa la integración del sistema de manufactura flexible, junto con otros sistemas que se manejan en la empresa.

La siguiente etapa en el desarrollo del sistema de manufactura flexible, sería simular el funcionamiento, sin embargo, este punto queda fuera de las expectativas planteadas para el desarrollo de este proyecto de tesis.

IV.5 CONFIGURACIÓN FINAL DEL FMS

Una vez que se a definido el FMS en cuanto a las consideraciones, diseño y desarrollo se obtiene la configuración final y requerimientos en cuanto a mano de obra directa, dispositivos y equipos, diagrama lógico integral y distribución de planta.

Relación de Mano de Obra Directa

Para el centro de maquinado de corte/estampado y formado, se empleará un trabajador del tipo C por línea; para los procesos de chamfer y muesca un trabajador tipo C y un trabajador tipo B por máquina respectivamente, por último, para los procesos de shaver y aerobore un trabajador tipo C para cada máquina. Con esta asignación de mano de obra directa se busca estandarizar la categoría de los trabajadores, permitiendo realizar rotación de personal entre las diferentes máquinas que conforman los centros de maquinado; solamente para las máquinas que realizan el proceso de muesca se emplearán trabajadores de otro tipo, ya que en estas máquinas se pueden realizar otros maquinados (para los otros tipos de cojinetes que se fabrican en Clemex) requiriendo mayor especialización del trabajador.

Centro de Maquinado	B	C	D	Total
Corte/Estampado y Formado		3		3
Chamfer y Muesca	3	3		6
Shaver y Aerobore		6		6
Total	3	12		15

Tabla 4.1 Relación de mano de obra directa.

El personal que conforma la mano de obra directa estará dentro de un programa de capacitación en el cual aprenderá a realizar las actividades que se le demandan para el sistema de manufactura flexible (uso de botones registradores de eventos, lectura e interpretación de mensajes, ajustes en instrumentos y equipos de medición, etc.).

Lista de Equipos y Dispositivos

Existe una serie de equipos y dispositivos que se aplican para el funcionamiento integral del sistema de manufactura flexible propuesto, los cuales se presentan a continuación.

Equipo/Dispositivo	Cantidad
Contenedores de plástico	200
Memorias	230
Instrumentos de medición	-
Servidor	1
PC	4
Telefast	3
Decserver	3
PLC's	3
BASEstar	1
Aplicaciones (Software)	4

Tabla 4.2 Equipos y dispositivos.

Los demás equipos y dispositivos que emplea el sistema se presentan en las siguientes tablas, agrupándolos por centro de maquinado. También se describe su cantidad y uso de acuerdo a las líneas y máquinas empleadas en cada proceso.

Equipo/Dispositivo	Cantidad	N° de líneas	Total	Observaciones
Polipasto	1	-	1	Uno para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Display	5	3	15	Para: alimentador de corte/estampado; máquina de corte/estampado y formado; y estación de aseguramiento de calidad de corte/estampado y formado.
Botones	6	3	18	Por maquinaria en cada línea: un botón para eventos, otro para falla y uno en cada estación de aseguramiento de calidad.
Alimentador orientador vibratorio	1	3	3	Sólo para las máquinas de formado.
Recipiente y estructura	1	3	3	Sólo para las máquinas de formado.
Indicadores luminosos	4	3	12	Dos para cada máquina en cada línea.
Contador de piezas	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo grabador de memorias	1	3	3	Sólo para las máquinas de formado.

Tabla 4.3 Equipos y dispositivos (centro de maquinado de corte/estampado y formado).

Equipo/Dispositivo	Cantidad	N° de líneas	Total	Observaciones
Banda transportadora	1	-	1	Una para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Dispositivo de carga de contenedores (para banda transportadora)	1	-	1	Uno para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Dispositivo de descarga de contenedores	1	-	1	Uno para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Display	4	3	12	Uno por máquina y por estación de aseguramiento de calidad en cada línea.
Botones	6	3	18	Por maquinaria en cada línea: un botón para eventos, otro para falla y uno en cada estación de aseguramiento de calidad.
Indicadores luminosos	4	3	12	Dos para cada máquina en cada línea.
Contador de piezas	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo de carga de contenedores (para máquina)	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo manipulador de contenedores (para máquina)	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo grabador de memorias	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.

Tabla 4.4 Equipos y dispositivos (centro de maquinado de chamfer y muesca).

Equipo/Dispositivo	Cantidad	N° de líneas	Total	Observaciones
Banda transportadora	1	-	1	Una para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Dispositivo de carga de contenedores (para banda transportadora)	1	-	1	Uno para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Dispositivo de descarga de contenedores	1	-	1	Uno para las tres líneas que conforman el centro de maquinado.
Display	4	3	12	Uno por máquina y por estación de aseguramiento de calidad en cada línea.
Botones	6	3	18	Por maquina en cada línea: un botón para eventos, otro para falla y uno en cada estación de aseguramiento de calidad.
Alimentador orientador vibratorio	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Indicadores luminosos	4	3	12	Dos para cada máquina en cada línea.
Contador de piezas	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo de carga de contenedores (para máquina)	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo manipulador de contenedores (para máquina)	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.
Dispositivo grabador de memorias	2	3	6	Uno por máquina en cada línea.

Tabla 4.5 Equipos y dispositivos (centro de maquinado de shaver y aerobore).

Diagrama Lógico Integral y Distribución de Planta (Layout)

Con el diagrama lógico integral del FMS propuesto (figura 4.17) se muestra el flujo que seguirá el producto a través de los procesos y elementos que conforman el sistema.

Por otro lado, la distribución física de los elementos, maquinaria, equipos y dispositivos que integran el sistema se presenta en la figura 4.18. Esta distribución se hace de acuerdo a las diferentes actividades que se realizan en la manufactura de los cojinetes, es decir, se hace la agrupación de

maquinaria y equipos (con características de funcionalidad similar) en centros de maquinado, los cuales no representan células de manufactura, ya que el principio de funcionamiento de la tecnología de grupos es en base al uso de maquinaria de control numérico, lo cual no está contemplado en el diseño del FMS propuesto. Por tanto, el sistema de manufactura presenta una distribución por proceso.

El diseño y desarrollo del sistema de manufactura flexible presentado, finca las bases para llevar a cabo, en un proyecto de integración total para toda la empresa, el desarrollo e implantación del concepto "manufactura integrada por computadora" (CIM, siglas en el idioma inglés, Computer Integrated Manufacturing).

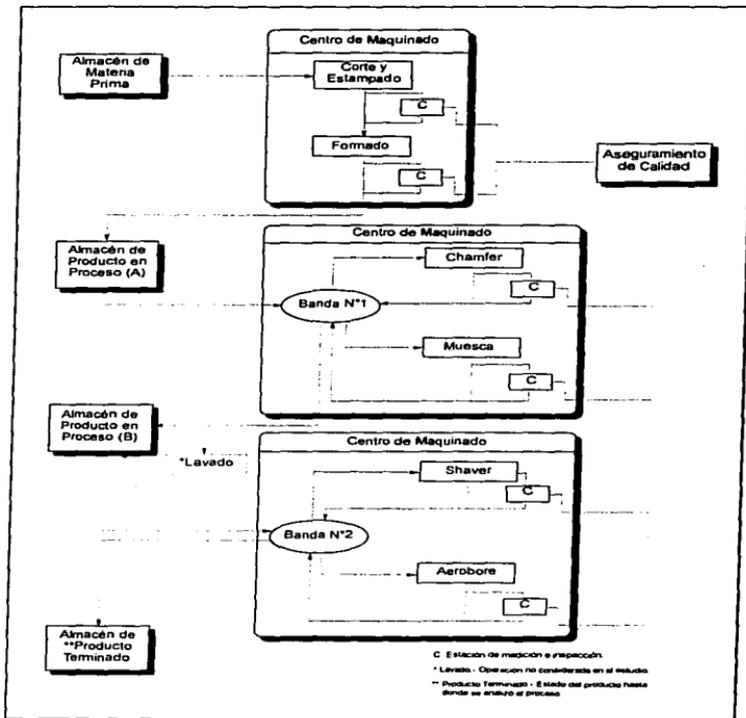


Figura 4.18 Diagrama lógico del FMS.

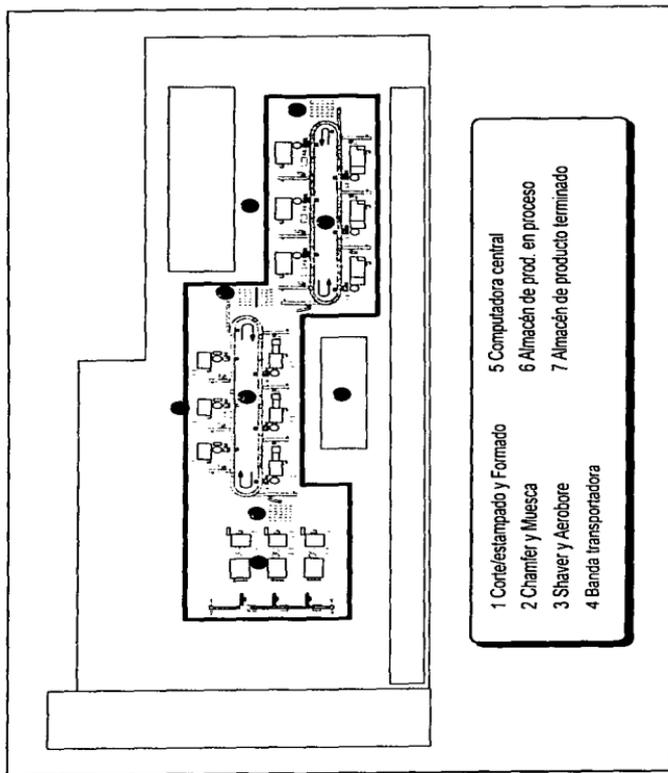


Figura 4.18 Layout del FMS.

CAPITULO V

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

V.1 ANTECEDENTES.

V.2 ESTUDIO ECONÓMICO.

V.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA.

V.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

V.1 ANTECEDENTES

La forma de justificar la inversión en nuevas tecnologías aplicadas a la automatización de procesos, y en el caso particular de los sistemas de manufactura flexible, se fundamenta en la identificación de dos tipos de factores a considerar: tangibles e intangibles.

Los factores tangibles son aquellos que se pueden cuantificar en forma sencilla o con un grado de dificultad relativo, como son: la inversión en maquinaria y equipos; los costos de mano de obra; los inventarios; etc..

Los factores que se reconocen como intangibles son aquellos que difícilmente se pueden cuantificar, como pueden ser, entre otros: el posicionamiento estratégico dentro del mercado; una mayor flexibilidad en la variedad y disponibilidad de productos; o las respuestas a las adecuaciones que los clientes necesiten.

Los métodos tradicionales para la justificación de la inversión en nuevas tecnologías se basan en el estudio y evaluación económica de los factores tangibles, empleando como herramientas: análisis de costos, valor presente neto, retorno de la inversión, análisis de sensibilidad y riesgo, entre otros. Los resultados que se obtienen haciendo uso de las herramientas antes mencionadas permiten obtener una idea cuantificable de los costos y ahorros de lo que se considera una inversión estratégica de largo plazo.

Para el caso de los factores intangibles se emplean modelos de decisión, en donde primero se establecen las diferentes opciones que se contemplan para el proyecto, posteriormente se seleccionan los parámetros intangibles

más representativos para la evaluación, asignándoles un peso de acuerdo a estadísticas y probabilidad de ocurrencia. Con esta información se construye una matriz que permite cuantificar y decidir sobre las diferentes alternativas de solución.

En algunos casos, los resultados de la cuantificación de los factores intangibles son los que determinan la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión en nuevas tecnologías, por lo cual es de gran importancia considerarlos dentro de la justificación económica.

En lo que respecta a este proyecto de tesis, la justificación económica se lleva a cabo en un horizonte de estudio de 5 años, comparando los costos del sistema de manufactura convencional con respecto a la inversión y costos del sistema de manufactura flexible propuesto, empleando los métodos tradicionales de análisis y evaluación, así como, haciendo uso de factores históricos y estadísticos que resultan del desempeño de sistemas de manufactura flexible que se reportan en la literatura consultada, que hacen referencia a factores intangibles.

Se debe mencionar que debido a la confidencialidad de ciertos parámetros propios de la empresa Clemex se plantean ciertas estimaciones que permiten en forma consistente llevar a cabo la justificación económica del proyecto de tesis.

V.2 ESTUDIO ECONÓMICO

Con la realización de este estudio se determinan los montos de los recursos económicos que se requieren, tanto para el sistema de manufactura convencional como para el FMS propuesto, así como otra serie de indicadores que sirven como base para la evaluación económica del proyecto.

Sistema de Manufactura Convencional

En primer lugar se presentan los costos estimados que genera el sistema convencional de manufactura. Para obtener estos costos se hace uso de los siguientes datos promedio para la producción de cojinetes rectos de biela (CB):

Rubro	
Producción diaria	12,000 (u)
Días laborables al año	330
Costo Unitario	\$ 3.50

Tabla 5.1 Datos de producción.

El dato de la producción diaria de CB se obtiene estimando que la capacidad instalada del sistema de manufactura convencional es del 80%; el costo unitario es un promedio de todos los tipos de CB que se producen.

Con lo anterior se determina que el costo promedio anual es de \$13'860,000. Ahora, haciendo uso de la tabla 3.6 del capítulo III, se prorratea el costo promedio anual y se obtiene la siguiente tabla:

Rubro	(\$)
Mano de obra	5'266,800
Materia prima	4'851,000
Fabricación	1'108,800
Administración	1'801,800
Venta y distribución	831,600
Total	13'860,000

Tabla 5.2 Costos del sistema de manufactura convencional.

Para calcular los ingresos por ventas se requiere el precio promedio de los diferentes CB, el cual se estima en \$5.00. Sin embargo se hace la consideración de que no se vende el total de la producción anual, para esto se establece que solamente el 80% de la producción se vende (volumen de ventas), el 20% restante representa un volumen de producto terminado que se mantiene en inventario o que no se pudo colocar en el mercado durante ese periodo. Con esto se determina que los ingresos promedio anuales son de \$15'840,000.

Otro factor a considerar es el volumen y el valor del inventario de producto en proceso. Se estima que son 30 días de la producción diaria que se mantienen como inventario a lo largo del proceso evaluado. En base a los datos de la tabla 5.1 se tiene que el inventario de producto en proceso tiene un volumen de 360,000 unidades, teniendo un valor de \$1'260,000. Este inventario considera todos los tipos de cojinetes rectos de biela que se fabrican en la empresa. Este inventario se considera como la única inversión que requiere el sistema de manufactura convencional para operar.

Se debe mencionar que para la maquinaria y equipos que componen el sistema de manufactura convencional se consideran que han concluido su vida útil por lo que no generan cargos por depreciación.

A continuación se presenta el estado de resultados y los flujos netos de efectivo (FNE) que genera el sistema convencional dentro del horizonte de estudio. Los costos son afectados a partir del primer año por una tasa inflacionaria promedio de 12.32%. Esta tasa se aplica a todos los costos excepto a la mano de obra, a la cual se le aplica una tasa promedio de 7.5%, ya que el salario regularmente no aumenta de acuerdo a la inflación.

Concepto	0	1	2	3	4	5
Inversión	1,260,000					
Ingresos por Ventas		17,791,488	19,983,399	22,445,354	25,210,622	28,316,570
Costos de Manufactura		12,355,857	13,605,200	14,987,994	16,519,145	18,215,282
Utilidad Marginal		5,435,631	6,378,200	7,457,360	8,691,476	10,101,288
Gastos de Operación		2,957,835	3,322,240	3,731,540	4,191,266	4,707,630
Costos Financieros		0	0	0	0	0
Utilidad Bruta		2,477,796	3,055,959	3,725,820	4,500,211	5,393,658
I.S.R. ¹ 34%		842,451	1,039,026	1,266,779	1,530,072	1,833,844
R.U.T. ² 10%		247,780	305,596	372,582	450,021	539,366
Utilidad Neta		1,387,566	1,711,337	2,086,459	2,520,118	3,020,449
Depreciación		0	0	0	0	0
Pago a Principal		0	0	0	0	0
Flujo Neto de Efectivo	-1,260,000	1,387,566	1,711,337	2,086,459	2,520,118	3,020,449

Tabla 5.3 Estado de resultados del sistema de manufactura convencional.

¹ I.S.R. = Impuesto sobre la renta.

² R.U.T. = Reparto de utilidades a los trabajadores.

Sistema de Manufactura Flexible Propuesto

Inversión Inicial

La inversión inicial comprende la adquisición de los activos fijos y diferidos que se requieren para poner en funcionamiento el sistema de manufactura flexible. En el capítulo anterior se presentaron las tablas con los elementos que forman las diferentes aplicaciones con que cuenta el sistema de manufactura flexible.

A continuación se presentan los precios de los equipo, dispositivos y requerimientos del FMS.

Equipo/Dispositivo	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Contenedores de plástico	200	30	6,000
Memorias	230	300	69,000
Instrumentos de medición	-	350,000	350,000
Servidor	1	350,000	350,000
PC	4	45,000	180,000
Telefast	3	3,000	9,000
Decserver	3	4,000	12,000
PLC's	3	5,000	15,000
BASEstar	1	150,000	150,000
Aplicaciones (Software)	4	12,000	48,000
		Subtotal	1'189,000

Tabla 5.4 Inversión en activos fijos.

Equipo / Dispositivo	Cantidad	N° de líneas	Total	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Polipasto	1	-	1	28,000	28,000
Display	5	3	15	500	7,500
Botones	6	3	18	150	2,700
Alimentador orientador vibratorio	1	3	3	5,000	15,000
Recipiente y estructura	1	3	3	150	450
Indicadores luminosos	4	3	12	100	1,200
Contador de piezas	2	3	6	600	3,600
Dispositivo grabador de memorias	1	3	3	5,500	16,500
Subtotal					74,950

Tabla 5.5 Inversión en activos fijos (centro de maquinado de corte/estampado y formado).

Equipo	Cantidad	N° de líneas	Total	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Banda transportadora	1	-	1	150,000	150,000
Dispositivo de carga de contenedores (para banda)	1	-	1	7,000	7,000
Dispositivo de descarga de contenedores	1	-	1	6,500	6,500
Display	4	3	12	500	6,000
Botones	6	3	18	150	2,700
Indicadores luminosos	4	3	12	100	1,200
Contador de piezas	2	3	6	600	3,600
Dispositivo de carga de contenedores (para máquina)	2	3	6	7,000	42,000
Dispositivo manipulador de contenedores (para máquina)	2	3	6	8,500	51,000
Dispositivo grabador de memorias	2	3	6	5,500	33,000
Subtotal					303,000

Tabla 5.6 Inversión en activos fijos (centro de maquinado de chamfer y muesca).

Equipo	Cantidad	N° de Unidades	Total	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Banda transportadora	1	-	1	150,000	150,000
Dispositivo de carga de contenedores (para banda transportadora)	1	-	1	7,000	7,000
Dispositivo de descarga de contenedores	1	-	1	6,500	6,500
Display	4	3	12	500	6,000
Botones	6	3	18	150	2,700
Alimentador orientador vibratorio	2	3	6	5,000	30,000
Indicadores luminosos	4	3	12	100	1,200
Contador de piezas	2	3	6	600	3,600
Dispositivo de carga de contenedores (para máquina)	2	3	6	7,000	42,000
Dispositivo manipulador de contenedores (para máquina)	2	3	6	8,500	51,000
Dispositivo grabador de memorias	2	3	6	5,500	33,000
Subtotal					333,000

Tabla 5.7 Inversión en activos fijos (centro de maquinado de shaver y aerobore).

Las inversiones totales en activos fijos y diferidos se muestran en las siguientes tablas.

Rubro	(\$)
Equipo y dispositivos	1'671,900
Instalación de equipos	500,000
Subtotal	2'171,900

Tabla 5.8 Inversión total en activos fijos.

Rubro	(\$)
Fletes y seguros	200,000
Asesoría y supervisión	450,000
Subtotal	650,000

Tabla 5.9 Inversión total en activos diferidos.

Inversión Inicial	
TOTAL	\$2'821,900

Tabla 5.10 Inversión inicial total en activos fijos y diferidos.

Otro factor a considerar dentro de la inversión inicial es el costo del inventario de producto en proceso con el cual va a trabajar el sistema de manufactura flexible. Los estudios sobre el desempeño de los FMS arrojan datos sobre ahorros que van desde un 90% hasta un 30% en los volúmenes de productos en procesos que se generan dentro de los sistemas evaluados en la literatura consultada.

Para el caso del sistema de manufactura flexible presentado en el capítulo anterior, donde se continúa considerando áreas específicas para los inventarios de producto en proceso y por el grado de automatización propuesto, el ahorro en cuanto al inventario de producto en proceso se considera de un 30%. El diseño de este FMS contemplan mayor utilización de la maquinaria y una respuesta oportuna a los cambios de producto, por lo que se puede prever la disminución estimada para este tipo de inventarios.

De acuerdo con el ahorro considerado y los datos del volumen promedio de inventario de producto en proceso del sistema convencional de manufactura, el volumen y costo de este inventario para el FMS son de: 252,000 unidades (21 días de producción diaria), con un valor de \$882,000. Por lo tanto, la cantidad a considerar en los estados de resultados por cuestión de inversión inicial es de \$3'703,900.

Depreciación y Amortización

En la tabla 5.11 se muestran los cargos anuales por depreciación de los activos fijos y la amortización sobre los activos diferidos. Las tasas anuales aplicables para la depreciación y amortización son 20% y 10% respectivamente.

Activos Fijos	(\$)
Equipo y dispositivos	334,380
Instalación de equipos	100,000
Activos Diferidos	(\$)
Fletes y seguros	20,000
Asesoría y supervisión	45,000
Total	499,380

Tabla 5.11 Cargos anuales de depreciación y amortización.

Para el horizonte de estudio del proyecto (5 años) se considera que el valor de salvamento de la inversión inicial es cero, es decir, a través del periodo considerado para estudiar y evaluar el proyecto, los activos fijos y diferidos se deprecian y amortizan en su totalidad al final del quinto año. En otras

palabras, la vida útil de todos los equipos, dispositivos y requerimientos de inversión para este proyecto es de cinco años.

Financiamiento

Para el proyecto se considera que se cuenta con un capital equivalente al 60% de la inversión inicial total (no se considera el costo del inventario de producto en proceso), por lo tanto el restante 40% tendrá que ser financiado a través de un crédito bancario. Las condiciones del préstamo se muestran a continuación.

- Monto: \$1'128,760.00
- Plazo: 5 años
- Tasa de interés 25% (sobre saldos insolutos)
- Anualidad: \$419,726 (pagos iguales de capital más intereses)

Año	Interés	Pago a capital	Anualidad	Saldo
0	-	-	-	-
1	282,190	137,536	419,726	991,224
2	247,806	171,920	419,726	819,305
3	204,826	214,900	419,726	604,405
4	151,101	268,624	419,726	335,781
5	83,945	335,781	419,726	0.00

Tabla 5.12 Pago de deuda por financiamiento.

En la tabla 5.12 se presenta el pago de la deuda por el financiamiento de acuerdo a las condiciones del préstamo. Con la finalidad de cubrir las diversas perspectivas de inversión, también se considera al proyecto sin financiamiento, en donde el total de la inversión inicial es resultado de la aportación de los accionistas de la empresa.

Costos de Manufactura y Gastos de Operación

Con la finalidad de que el estudio económico sea consistente, para calcular los costos del proyecto se hace uso de la tabla 5.2, sólo que ahora se consideran ahorros y variaciones que se generan por las cualidades del FMS propuesto.

En cuanto a la mano de obra, los FMS plantean ahorros muy significativos en los costos que se originan por este rubro; esto se debe a que se maneja el concepto de manufactura desatendida, remplazando las actividades de manejo y preparación de maquinaria con robots u otro tipo de mecanismos automáticos, haciendo referencia a reducciones en costos que van desde un 80% hasta un 30%.

Sin embargo, como se observó en los capítulo anterior la reducción en cuanto a la mano de obra directa para el FMS propuesto es poco significativa, ya que de acuerdo con las tabla 3.3 y 4.1 y suponiendo que el sistema de manufactura convencional cuenta con tres líneas por cada proceso se tiene:

Sistema de Manufactura	Categoría			Total
	B	C	D	
Convencional	6	9	3	18
Propuesto	3	12	0	15

Tabla 5.13 Comparación de mano de obra.

Con base en la tabla anterior y con un salario por hora de: \$15.00, \$11.25, y \$7.50 para las categorías B, C y D respectivamente, se obtiene un costo/hora de mano de obra directa para el sistema de manufactura convencional de \$213.75 y de \$180.00 para el FMS propuesto. Por lo tanto, se aplica un ahorro aproximado de un 16% en este rubro.

En lo que concierne a los costos por materia prima y gastos de fabricación, los reportes sobre FMS mencionan ahorros del orden del 5% al 2% debidos a que se presentan menos desperdicios, rechazos y retrabajos. En el caso del sistema propuesto no se tiene una forma de evaluar estos ahorros por lo que se tomará para fines de la justificación económica el menor valor (2%). Se puede esperar un ahorro en cuanto a materia prima y gastos de fabricación debido a las características del sistema. Se debe mencionar que a los gastos de fabricación se les suma los cargos anuales por depreciación y amortización que generan los activos fijos y diferidos del FMS. En cuanto a los gastos de administración no se contempla ningún ahorro, debido a que el FMS propuesto no afecta la estructura administrativa con que cuenta la empresa, por tanto, los gastos que se originan por este rubro serán los mismos que los reportados para el sistema de manufactura convencional.

Los gastos de distribución y ventas se ven afectados por los incrementos en los volúmenes de producción que son vendidos, aunque el FMS propuesto no contempla un aumento en la producción, si se espera un incremento sobre la consideración del porcentaje de la producción anual que se vende (80%), mencionada anteriormente. Se estima un aumento de un 1% para cada año durante el horizonte de estudio, es decir que para el quinto año se debe esperar que un 85% de la producción sea vendida. Con este incremento en los ingresos por las ventas anuales se busca involucrar los beneficios intangibles de los FMS en la justificación económica del proyecto.

Por lo anterior, se espera un aumento proporcional en los gastos de distribución y ventas, es decir, para el primer año estos gastos se incrementarán 1% con respecto al sistema de manufactura convencional.

En base a las consideraciones anteriores, los costos promedio para el sistema de manufactura flexible son:

Rubro	(\$)
Mano de obra	4'424,112
Materia prima	4'753,980
Fabricación	1'586,004
Administración	1'801,800
Venta y distribución	839,916
Total	13'405,812

Tabla 5.14 Costos del sistema de manufactura flexible.

Estado de Resultados Proforma

Con base a las consideraciones anteriores se presenta el estado de pérdidas y ganancias o estado de resultados, obteniendo los flujos netos de efectivo (FNE) que origina el proyecto a través del horizonte de estudio. Se debe recordar que se consideran las opciones de inversión con y sin financiamiento, por lo tanto se generan dos estados de resultados para el FMS. De igual modo que en el estado de resultados del sistema de manufactura convencional, los costos son afectados a partir del primer año por una tasa inflacionaria promedio de 12.32%, excepto la mano de obra a la cual se le aplica una tasa promedio de 7.5%.

Concepto	0	1	2	3	4	5
Inversión	3,703,900					
Ingresos por Ventas		18,013,882	20,677,979	23,892,687	27,725,840	32,253,832
Costos de Manufactura		11,876,990	13,111,000	14,479,848	15,998,855	17,685,135
Utilidad Marginal		6,136,891	7,566,979	9,412,839	11,726,986	14,568,497
Gastos de Operación		2,967,175	3,343,328	3,767,246	4,245,008	4,783,462
Costos Financieros		0	0	0	0	0
Utilidad Bruta		3,169,716	4,223,651	5,645,593	7,481,978	9,785,034
I.S.R. 34%		1,077,703	1,436,041	1,919,502	2,543,873	3,326,912
R.U.T. 10%		316,972	422,365	564,559	748,198	978,503
Utilidad Neta		1,775,041	2,365,245	3,161,532	4,189,908	5,479,619
Depreciación		61,524	69,103	77,617	87,179	97,920
Pago a Principal		0	0	0	0	0
Flujo Neto de Efectivo	-3,703,900	1,836,564	2,434,348	3,239,149	4,277,087	5,577,539

Tabla 5.15 Estado de resultados del FMS sin financiamiento.

Concepto	0	1	2	3	4	5
Inversión	3,703,900					
Ingresos por Ventas		18,013,882	20,677,979	23,892,687	27,725,840	32,253,632
Costos de Manufactura		11,876,990	13,111,000	14,479,848	15,998,855	17,685,135
Utilidad Marginal		6,136,891	7,566,979	9,412,839	11,726,986	14,568,497
Gastos de Operación		2,967,175	3,343,328	3,767,246	4,245,008	4,783,462
Costos Financieros		282,190	247,806	204,826	151,101	83,945
Utilidad Bruta		2,887,526	3,975,845	5,440,767	7,330,877	9,701,089
I.S.R. 34%		981,759	1,351,787	1,849,861	2,492,498	3,298,370
R.U.T. 10%		288,753	397,585	544,077	733,088	970,109
Utilidad Neta		1,617,014	2,226,473	3,046,829	4,105,291	5,432,610
Depreciación		61,524	69,103	77,617	87,179	97,920
Pago a Principal		137,536	171,920	214,900	268,624	335,781
Flujo Neto de Efectivo	-2,575,140	1,541,002	2,123,657	2,909,547	3,923,846	5,194,749

Tabla 5.16 Estado de resultados del FMS con financiamiento.

V.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica es la parte final de toda secuencia de análisis de la factibilidad de un proyecto. Con este estudio se obtienen herramientas que permiten demostrar si la inversión propuesta es económicamente rentable o no. Para el proyecto de tesis se utilizan técnicas de evaluación que consideran el valor del dinero en el tiempo que se apoyan en conceptos como; tasa mínima aceptable de rendimiento TMAR, el valor presente neto VPN, tasa interna de retorno TIR (ver anexo D). Como se mencionó anteriormente, se hará una evaluación comparativa entre el sistema de manufactura convencional y el sistema de manufactura flexible con y sin financiamiento. Para ello se tomará en cada caso la diferencia entre los flujos netos de efectivo, es decir, a los flujos netos de efectivo del FMS se le restarán los del sistema convencional, con esto se obtendrá los FNE marginales que resultan por la incorporación del nuevo sistema de manufactura.

Evaluación sin Financiamiento

En la siguiente tabla se muestran los FNE marginales para la opción sin financiamiento:

Sistema de Manufactura	0	1	2	3	4	5
Flexible	-3,703,900	1,636,564	2,434,348	3,239,149	4,277,087	5,577,539
Convencional	-1,260,000	1,387,566	1,711,337	2,086,459	2,520,118	3,020,449
FNE Marginal	-2,443,900	448,999	723,011	1,152,690	1,756,969	2,557,090

Tabla 5.17 FNE marginal sin financiamiento.

Se determina la tasa mínima aceptable de rendimiento que se aplicará a la inversión del proyecto. Para ello se usa una tasa inflacionaria promedio de 12.32% (misma que se utilizó anteriormente en el estudio económico) y un premio al riesgo de 15% (valor recomendado dentro de la literatura consultada para evaluar proyectos dentro de una economía inestable como la que ha presentado el país). Haciendo uso de la ecuación que determina el valor de esta tasa se tiene: $TMAR = 29.17\%$.

Una vez que se han determinado los FNE marginales y la TMAR para la opción sin financiamiento se calcula el valor presente neto, el cual representa el valor monetario que arroja el proyecto dentro del horizonte de estudio, obteniendo un VPN sin financiamiento = \$214,257.

Ahora se determina la tasa interna de retorno, la cual representa la tasa de rendimiento que genera el proyecto por medio de la reinversión. El valor de la TIR es aquel que hace el VPN sea igual a cero. Por lo tanto, para el proyecto la $TIR = 32.48\%$. Debido a que el VPN que se obtuvo es mayor que cero y la TIR mayor que la TMAR que se determinó para la evaluación, se concluye que el proyecto sin financiamiento es económicamente rentable.

Evaluación con Financiamiento

En la siguiente tabla se muestran los FNE marginales para la opción con financiamiento:

Sistema de Manufactura	0	1	2	3	4	5
Flexible	-2,575,140	1,541,002	2,123,657	2,909,547	3,923,846	5,194,749
Convencional	-1,260,000	1,387,566	1,711,337	2,086,459	2,520,118	3,020,449
FNE Marginal	-1,315,140	153,437	412,320	823,087	1,403,728	2,174,300

Tabla 5.15 FNE marginal con financiamiento.

Para determinar la tasa mínima aceptable de rendimiento que se aplicará al proyecto con financiamiento se tiene en cuenta que el 40% de la inversión inicial total se obtiene por parte de una institución financiera a una tasa preferencial del 25%, al restante 60%, cuya aportación de capital es por parte de la empresa, se le aplica la misma TMAR que se usó en la opción sin financiamiento. Pero se requiere determinar la TMAR que se aplicará en forma global al proyecto, para ello se debe ponderar el porcentaje de aportación de capital en base a la tasa correspondiente, es decir:

Accionistas de la empresa	0.60	x	0.2917	=	0.1750
Institución Financiera	0.40	x	0.2500	=	0.1000
					<u>0.2750</u>

Por lo tanto, la TMAR global mixta del proyecto es 27.50%, esto significa que es el rendimiento mínimo para pagar 29.17% de interés sobre el capital aportado por los accionistas de la empresa y 25% de interés a la aportación de la institución financiera.

Una vez que se tienen los FNE marginales y la TMAR, se calcula el valor presente neto y la tasa interna de retorno. Haciendo uso de la ecuaciones correspondientes se tiene: $VPN = \$632,400$ y $TIR = 42.21\%$.

Con base a los resultados anteriores y a los criterios de evaluación económica del VPN y de la TIR, se concluye que el proyecto con financiamiento resulta económicamente rentable.

Comparación de las Evaluaciones con y sin Financiamiento

En la siguiente tabla se resumen los resultados de la evaluación económica de las opciones con y sin financiamiento.

Indicador	Sin Financiamiento	Con Financiamiento
TREMA	29.17%	27.50%
VPN	\$214,257	\$632,400
TIR	32.48%	42.21%

Tabla 5.19 Resultados de la evaluación económica.

Como se concluyó anteriormente, ambas opciones resultan ser rentables económicamente, sin embargo se puede observar que los resultados de la evaluación con financiamiento hacen ver al proyecto más atractivo. Esto se debe a que la aportación de capital por parte de la institución financiera resulta ser barata en comparación con la aportación de capital por parte de los accionistas de la empresa, esto se debe a que la tasa de interés que se

debe cubrir para el financiamiento es de 25%, mientras que la tasa mínima aceptable que se determinó por inversión de los accionistas de la empresa fue de 29.17%.

Por lo anterior, la opción con financiamiento resulta ser más atractiva siempre y cuando las utilidades no se vean disminuidas a tal grado de no poder alcanzar o cubrir los gastos anuales de intereses. Para cuantificar esta problemática, existe un indicador llamado "Número de veces que se gana el interés" (NVGI), que se obtiene dividiendo la utilidad bruta entre los costos financieros. Valores mínimos aceptados para este indicador, bajo las condiciones de financiamiento establecidas, son entre 8.0 y 10.0. Para el proyecto, el valor de este indicador resulta ser de 10.2 y 16.1 para el primero y segundo año respectivamente (haciendo uso de la tabla 5.16), con lo cual se concluye que la opción con financiamiento hace al proyecto económicamente más rentable con un margen de seguridad en pago de intereses aceptable.

V.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En análisis de sensibilidad es un procedimiento por el cual se puede determinar cuánto se afecta la tasa interna de rendimiento (TIR) ante cambios en determinadas variables. Para el sistema de manufactura flexible propuesto, el estudio de sensibilidad se realiza sobre los ahorros en los costos que se mencionaron anteriormente dentro del estudio económico; así mismo, sobre la consideración en el incremento del volumen de producción vendido (volumen de ventas) anualmente durante el horizonte de estudio del proyecto. También se analiza la afectación que se produce por variaciones en la tasa de interés del crédito del financiamiento, así como del porcentaje de financiamientos sobre activos fijos.

Se debe mencionar que para el cálculo de los valores que forman las gráficas del análisis de sensibilidad que se presenta a continuación, se empleó una hoja de cálculo electrónica (EXCEL), facilitando la obtención de los datos requeridos.

Ahorros en Costos

Los ahorros considerados son en mano de obra directa, materia prima, gastos de fabricación y costos por inventarios de producto en proceso.

Mano de Obra

Se varía el ahorro de este rubro desde 0 hasta 20%, obteniéndose los valores correspondientes para la TIR, dejando constantes las demás variables consideradas en el análisis. Con estos valores se construye la siguiente gráfica.

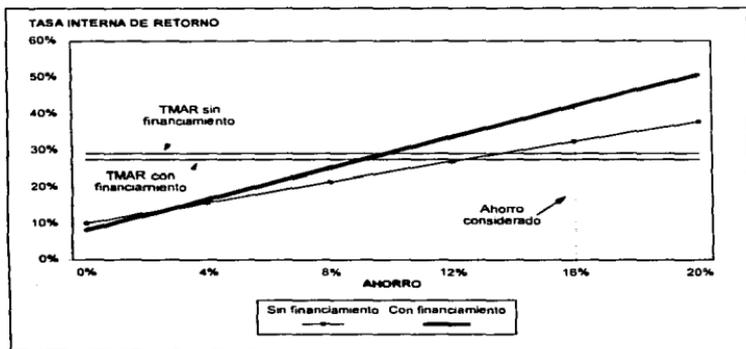


Figura 5.1 TIR - Ahorro en costos de mano de obra directa.

De esta gráfica se destaca que los valores mínimos de ahorro en costos por mano de obra directa, que hacen al proyecto económicamente rentable para la opción con financiamiento y sin financiamiento son de 9.1% y 13.6%, respectivamente.

Materia Prima

Se varía este ahorro desde 0 hasta 2.5%, obteniéndose los valores correspondientes para la TIR, dejando constantes las demás variables consideradas en el análisis. Con estos valores se construye la siguiente gráfica.

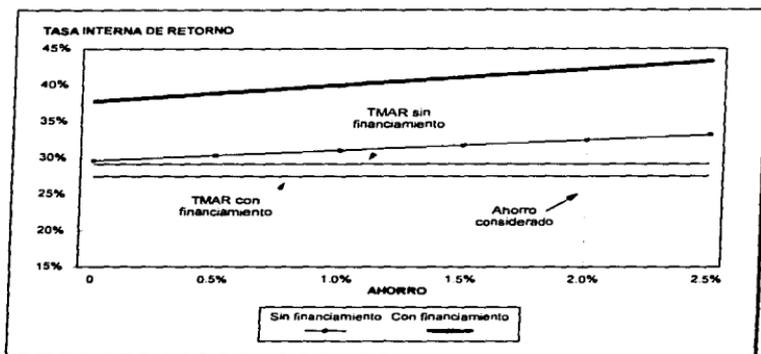


Figura 5.2 TIR - Ahorro en costos de materia prima.

De acuerdo a la gráfica anterior se observa que si el FMS propuesto no presenta ahorros en los costos por materia prima, dejando las demás variables consideradas como constantes, el proyecto continuaría siendo económicamente rentable, tanto para la opción con financiamiento como sin financiamiento.

Gastos de Fabricación

Se varía el ahorro en los gastos de fabricación desde 0 hasta 2.5%, obteniéndose los valores correspondientes para la TIR, dejando constantes las demás variables consideradas en el análisis. Con estos valores se construye la siguiente gráfica.

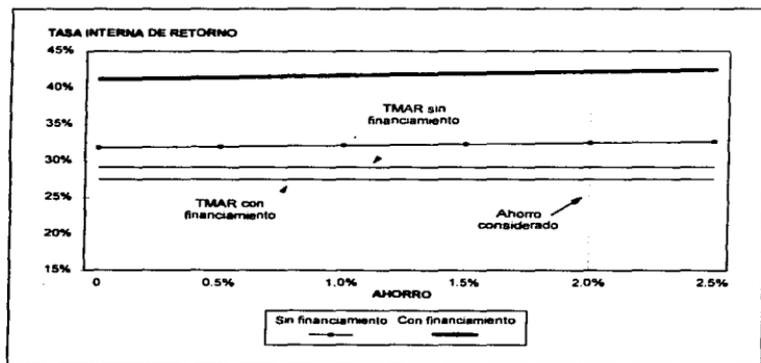


Figura 5.3 TIR - Ahorro en gastos de fabricación.

De igual forma que en el caso de la materia prima, se observa que si el FMS propuesto no presenta ahorros en los gastos de fabricación, dejando las demás variables consideradas como constantes, el proyecto continuaría siendo económicamente rentable ya sea considerando financiamiento o no.

Inventarios de Producto en Proceso.

Se varía el ahorro de este rubro desde 0 hasta 50%, obteniéndose los valores correspondientes para la TIR, dejando constantes las demás variables consideradas en el análisis. Con estos valores se construye la siguiente gráfica.

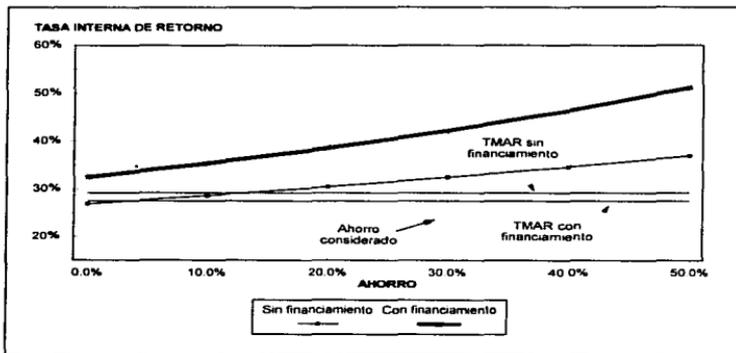


Figura 5.4 TIR - Ahorro en costos de inventarios de producto en proceso.

De esta gráfica se destaca que el valor mínimo de ahorro en costos por este rubro, que hacen al proyecto económicamente rentable para la opción con sin financiamiento es de 12.6%; mientras que para la opción con financiamiento no se tiene un valor mínimo, es decir, que si no hubiera ahorro por estos costos, bajo las condiciones mencionadas, el FMS propuesto continuaría siendo rentable económicamente.

De los ahorros en costos que se proponen para el proyecto se concluye que los que se generan en cuanto a la mano de obra directa afectan en mayor grado la factibilidad económica del FMS que se propone.

Incremento en el Volumen de Ventas

Como se mencionó en el estudio económico, este incremento se estima con un valor de 1% anual dentro del horizonte de estudio del proyecto, afectando exclusivamente a los gastos de distribución y ventas en forma proporcional. Para este incremento se varía su valor desde 0 hasta 1.3 %, obteniendo los resultados correspondientes para la TIR (con y sin financiamiento), dejando a las demás variables con valores constantes. Con estos datos se obtiene la siguiente gráfica.

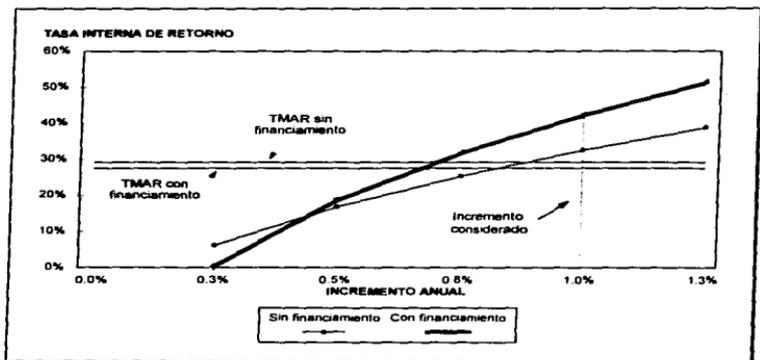


Figura 5.5 TIR - Incremento en el volumen de ventas.

Como se observa en la gráfica, a pesar de los ahorros en costos que se propusieron para el proyecto, existen valores mínimos para el incremento en

el volumen anual de ventas que hace al proyecto rentable económicamente. Para la opción sin financiamiento se debe esperar un incremento de por lo menos 0.9%; y, para la opción con financiamiento de por lo menos 0.75%.

De lo anterior, se concluye que la factibilidad económica del proyecto depende en gran medida del incremento en los volúmenes de venta que el FMS pueda brindar en base a los beneficios de los factores intangibles que se asocian a este incremento.

Condiciones de Financiamiento

Como se concluyó en la evaluación económica, la opción de emplear financiamiento para el proyecto, en base a las premisas establecidas, resulta ser más atractiva, sin embargo se tiene que evaluar hasta que condiciones (tasa de interés y porcentaje de financiamiento sobre activos fijos) es factible recurrir al recurso financiero que proporcionan las instituciones de crédito.

Tasa de Interés

Se consideró una tasa de interés preferencial de 25% para el proyecto, para el análisis de sensibilidad de esta variable se tomaron valores desde 20 hasta 50%, con los cuales se obtienen los valores correspondientes de la TIR y de la TMAR. Se debe recordar que el valor de la TMAR depende, cuando existe financiamiento, de la tasa de interés que se aplique al préstamo. Con estos datos se construye la siguiente gráfica.

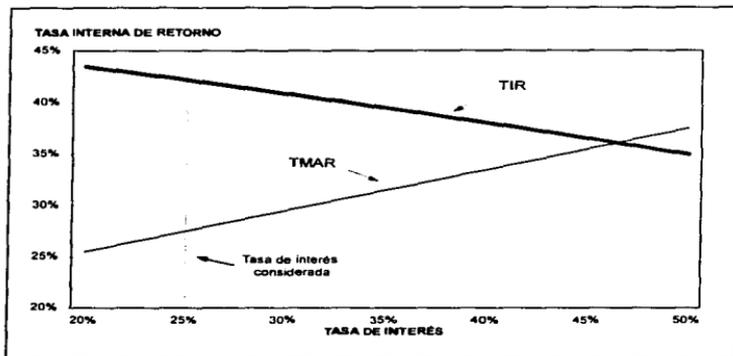


Figura 5.6 TIR - Tasa de Interés del financiamiento.

De esta gráfica se observa que para el proyecto se puede hacer uso de una tasa de interés un poco mayor al 45% bajo las condiciones de ahorro en costos, incremento en el volumen de ventas y porcentaje de la inversión inicial que se obtiene por financiamiento, condiciones que se establecieron en el estudio económico. Es decir, mientras el valor de la TIR sea mayor que el de la TMAR el proyecto resulta ser rentable económicamente.

Sin embargo, se debe considerar si las utilidades que se estima genere el FMS propuesto, no se vean disminuidas en gran medida por cubrir los costos financieros del préstamo. Para ello, se analiza el indicador NVGI del primer año del proyecto, (número de veces que se gana el interés) para los

valores de la tasa de interés empleados en la gráfica anterior, permitiendo construir la siguiente gráfica.

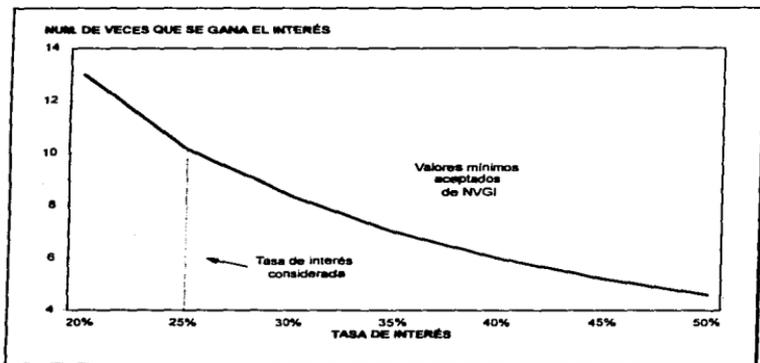


Figura 5.7 NVGI - Tasa de interés del financiamiento.

En esta gráfica se observa que para una tasa de interés del 45% el valor del indicador NVGI está fuera de los valores mínimos permisibles, por lo tanto no sería conveniente hacer uso de un préstamo bajo estas condiciones.

Porcentaje de Financiamiento.

Se analiza la afectación de la rentabilidad económica del proyecto en función de la TIR tomando diferentes valores para el porcentaje de financiamiento que se aplica al total de la inversión en activos fijos para el

proyecto, los cuales van desde un 0 hasta un 60%. Con estos datos se construye la siguiente gráfica, donde también se muestra la variación de la TMAR con respecto a esta condición de financiamiento.

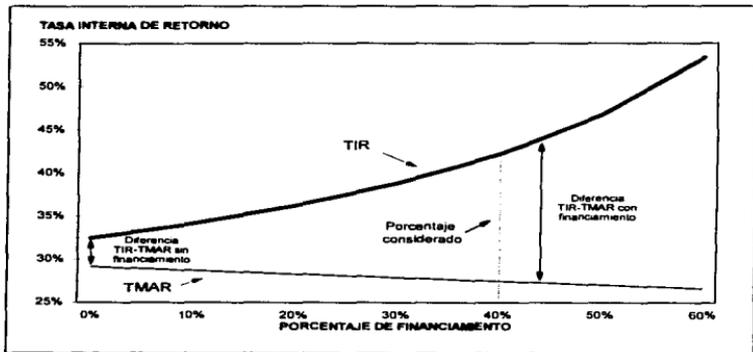


Figura 5.8 TIR - Porcentaje de financiamiento.

En la gráfica anterior se ve la conveniencia de emplear financiamiento, en cuanto a la diferencia entre la TIR y la TMAR, sin embargo esta diferencia debe estar sujeta a alguna política, ya sea por parte de la empresa o de la institución de crédito que otorga el préstamo.

De igual modo que para la tasa de interés, se emplea el análisis del indicador NVGI que genera el primer año del proyecto para determinar la conveniencia de aumentar el porcentaje de financiamiento.

proyecto, los cuales van desde un 0 hasta un 60%. Con estos datos se construye la siguiente gráfica, donde también se muestra la variación de la TMAR con respecto a esta condición de financiamiento.

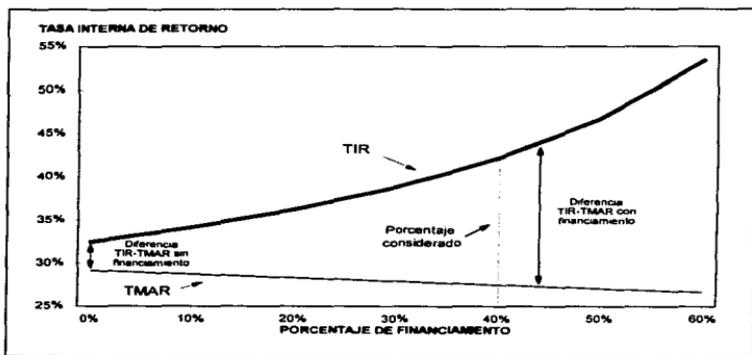


Figura 5.8 TIR - Porcentaje de financiamiento.

En la gráfica anterior se ve la conveniencia de emplear financiamiento, en cuanto a la diferencia entre la TIR y la TMAR, sin embargo esta diferencia debe estar sujeta a alguna política, ya sea por parte de la empresa o de la institución de crédito que otorga el préstamo.

De igual modo que para la tasa de interés, se emplea el análisis del indicador NVGI que genera el primer año del proyecto para determinar la conveniencia de aumentar el porcentaje de financiamiento.

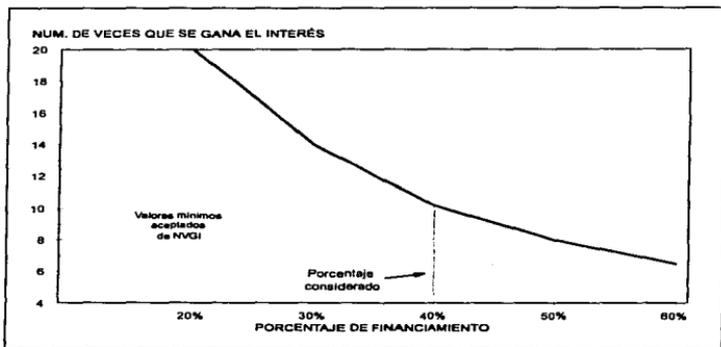


Figura 5.9 NVGI - Porcentaje de financiamiento.

De la gráfica anterior se puede observar como a medida de que se aumenta el porcentaje de financiamiento, el indicador NVGI se salen de los valores mínimos permisibles, por lo tanto, resultaría peligroso (económicamente) para el proyecto aumentar este porcentaje.

Por último, se concluye que las condiciones de financiamiento establecidas para el FMS propuesto son convenientes y mantienen un margen de confiabilidad considerable para afrontar algún cambio imprevisto que se pueda dar en cuanto a las condiciones financieras de la empresa.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

Durante el desarrollo de este proyecto se han expuesto tópicos tecnológicos y económicos, los cuales son determinantes para la toma de decisiones al momento de invertir, pero un factor no menos importante es el humano, debido al cambio de paradigmas que conlleva el dinamismo de la tecnología, lo cual representa una barrera a afrontar, por lo que este punto debe ser tratado de igual forma que los anteriores, en un estudio dedicado a analizar las consecuencias y posturas de los recursos humanos ante los cambios tecnológicos.

En este proyecto se ha buscado el porque adoptar y adaptar "nuevas" tecnologías a una empresa mexicana a favor de incrementar su competitividad no sólo en el mercado nacional sino en mercados internacionales, esto debido a la globalización en que estamos inmersos hoy en día, por lo que debemos buscar posicionamiento en dichos mercados, no únicamente en tiempos de crisis, sino como una estrategia corporativa de expansión.

¿Porque adoptar y adaptar?. Porque todas las tecnologías se basan en principios fundamentales, es decir conceptos básicos, los cuales nos proporcionan los elementos para desarrollar esta tecnología y obtener así los beneficios que de ella se esperan, buscando adoptar estos principios en donde se identifique un factor crítico de éxito. El adaptar es un punto muy importante porque cada aplicación es única, aunque se enfoque al mismo proceso y/o producto; esto se debe principalmente a las políticas propias de la empresa, a la tecnología de producción que empleen y a los recursos económicos y humanos con que se disponga.

En lo que se refiere a los FMS, el factor crítico de éxito surge precisamente de la flexibilidad, la cual nos proporciona la facilidad de responder y adaptarse al mercado dinámico, donde los requerimientos varían con respecto al tiempo, así como también el solucionar problemas internos de producción, donde los cambios en la ingeniería del producto, maquinaria inhabilitada, rupturas de herramientas de corte, entre otros, no se conviertan en factores que detengan la manufactura del producto.

El adaptar una tecnología de punta a una empresa mexicana es un reto muy especial, debido a la condiciones generales del país y sobretodo el de las plantas manufactureras, donde se emplea tecnología que en muchos casos es obsoleta ante los requerimientos de los mercados globalizados. Un factor que juega un papel importante es la disponibilidad de recursos, no sólo materiales sino de carácter humano, es decir consultores y empresas que desarrollen estos proyectos, etc.

Antes de comenzar el proyecto de tesis se buscó la tecnología que se adecuara a la empresa Clevite, decidiendo incorporar los elementos de los sistemas de manufactura flexible que proporcionararan los mayores beneficios a la empresa, aprovechando en gran medida los recursos tecnológicos existentes.

Al realizarse el estudio del sistema actual de manufactura de la empresa Clevite, se encontró que esta empresa cuenta con un grado de flexibilidad atribuible a la distribución de la maquinaria y al uso de aditamentos tecnológicos de funcionamiento aislado, es decir, cuenta con flexibilidad en el proceso. Posteriormente, en base al estudio realizado, se logró desarrollar un FMS empleando elementos ya existentes y nuevos dispositivos que nos

permitieron la automatización. Dentro de los elementos existentes, se distinguen la maquinaria, mano de obra y espacio disponible, entre los más importantes. Con esta combinación se obtuvo una configuración óptima, donde se obtienen beneficios de lo ya existente sin una gran inversión en dispositivos automáticos. Cabe mencionar que este FMS se puede implementar, debido a que los elementos adicionales necesarios, pueden ser abastecidos y puestos en marcha por proveedores nacionales que ofrecen tecnología de vanguardia.

Al encontrar que el FMS se podía adecuar a la empresa se comenzó a la búsqueda de mejoras que se encontraban en su mayoría en el campo tecnológico, donde se emplearon PLC's para control y monitoreo, entre otros componentes, con el objeto de crear un determinado grado de automatización. Esto con la finalidad de eficientar los procesos y obtener la flexibilidad que el concepto tecnológico empleado propone.

Los aspectos tecnológicos como tales no presentan mayor complejidad que conocer los requerimientos del cliente y lo que espera obtener, lo demás es diseñar e implementar la solución. Durante la fase de diseño de la solución se complica la visualización del sistema antes de llevarlo a cabo, en donde se tomará como base las entradas y salidas ya documentadas. La implantación será a partir de los resultados del diseño que se traduce en elementos electromecánicos y dispositivos de interconexión, los cuales deben cumplir determinados estándares y parámetros funcionales.

En el momento que se busca tener una empresa de clase mundial a través de la inversión en nuevas tecnologías no podemos cometer el error de no tocar los aspectos económicos, ya que podríamos contar con la mejor

tecnología y ofrecer el mejor producto con la mayor disponibilidad, pero no a un precio competitivo, de tal forma que al no haber un factor que justifique esta inversión, lo que se pretendía fuera una ventaja competitiva se convierte en un factor que pueda dejar fuera del mercado a la empresa.

La factibilidad económica del proyecto se fundamentó en base a los ahorros en costos que refleja el FMS propuesto con respecto al sistema de manufactura convencional. Los resultados de la evaluación económica y del análisis de sensibilidad hacen ver al proyecto económicamente rentable, siempre y cuando las condiciones de operación generen los ahorros en costos que se plantearon para el sistema, así como en el incremento del volumen anual de ventas.

Se recomienda el uso de financiamiento para cubrir la inversión inicial del proyecto, pensando que los costos financieros que se generan por el préstamo son menores que los que se pueden generar por el uso de recursos financieros propios de la empresa.

Finalmente, el proyecto de tesis propone una metodología de diseño y desarrollo de un FMS para una industria de autopartes mexicana, firmando las bases para su implantación y aplicación en todos los procesos con que cuenta la empresa.

A N E X O S

DISPOSITIVOS ELECTRONEUMÁTICOS PROPUESTOS

Dispositivo Manipulador de Contenedores

Secuencia de Operaciones

El proceso de manipulación del contenedor, para ser tomado de la banda transportadora y vaciar los cojinetes en el alimentador orientador vibratorio de la máquina correspondiente es el siguiente:

El dispositivo se pone a punto por medio de un botón de inicio (start). Cuando un contenedor se posiciona frente al lector de memorias, todos los cilindros se encuentran retraídos en su posición inicial, entonces, si el contenedor lleva los cojinetes que van a ser maquinados, el lector de memorias lo identifica y pone en funcionamiento el sistema.

1. El cilindro A recibe la señal del lector de memorias y desplaza el contenedor de la banda transportadora a la mesa giratoria en donde un microswitch o interruptor de rodillo lo detecta e indica que el contenedor fue posicionado correctamente.
2. El microswitch envía una señal para que el cilindro A regrese a su posición inicial y se accione el cilindro B, para que la mesa gire y vacíe los cojinetes en el alimentador de materia prima de la máquina.
3. El sensor de limite de carrera extendido que tiene el cilindro B envía una señal que es retardada 2 segundos por el PLC correspondiente para asegurar el vaciado total del contenedor, para que posteriormente el cilindro B regrese a su posición original.

4. Al llegar a su posición inicial el sensor de limite de carrera retraído del cilindro B envía una señal que acciona el cilindro C para desplazar al contenedor de la mesa hacia la rampa de descarga de contenedores vacíos.
5. El interruptor de limite de carrera extendido del cilindro C envía una señal para regresar dicho cilindro a su posición inicial quedando el sistema en sus condiciones iniciales listo para iniciar un nuevo ciclo.

En todo momento se cuenta con un botón de paro de emergencia (reset).

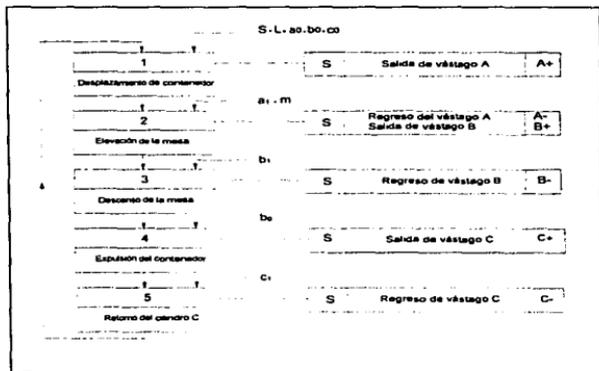


Figura A.1 Diagrama esquemático de movimientos.

Lista de Elementos

Actuadores.- 3 cilindros de doble efecto con especificaciones de diseño adecuadas a la operación.

Elementos de control.- 6 reguladores de caudal (2 por pistón), 3 válvulas distribuidoras 5/2 conexión a la derecha de mando eléctrico.

Elementos procesadores.- PLC.

Elementos de señal.- 6 sensores electromagnéticos de limite de carrera (2 por pistón), lector de memorias, microswitch digital de rodillo, botón pulsador eléctrico con enclavamiento.

Abastecimiento de energía.- Red de aire comprimido a 6 bar; unidad de mantenimiento; y red eléctrica 120/240 volts.

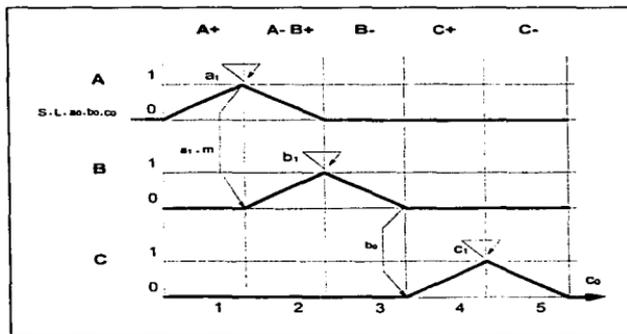


Figura A.2 Diagrama espacio fase.

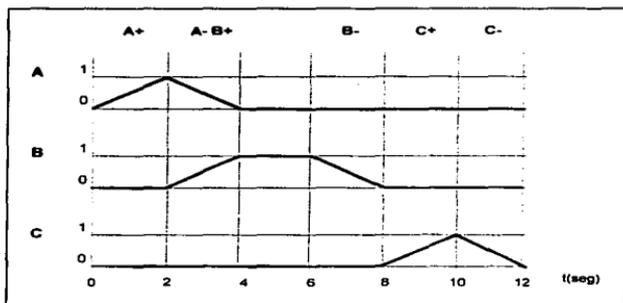


Figura A.3 Diagrama espacio tiempo.

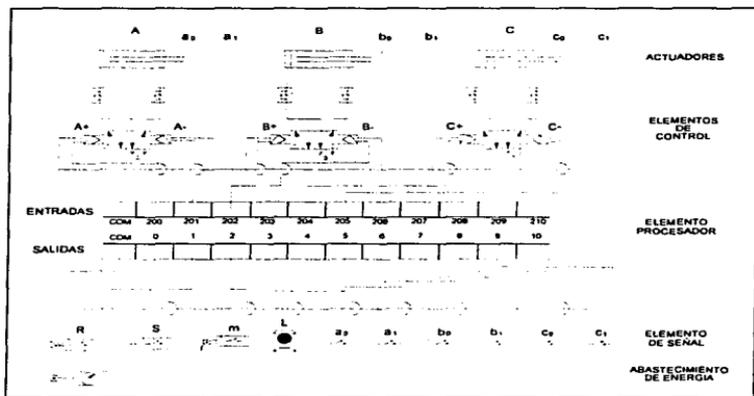


Figura A.4 Diagrama electro neumático.

Dispositivo de Descarga de Contenedores

Secuencia de Operaciones

Este dispositivo permite retirar de la banda transportadora todo aquel contenedor con cojinetes ya maquinados que tiene que llevarse al almacén de producto en proceso y de producto terminado según el caso. El dispositivo se pone a punto por medio de un botón de inicio (start). Cuando un contenedor se posiciona frente al lector de memorias, el cilindro se encuentra en su posición inicial, entonces, si el contenedor tiene que ser retirado de la banda transportadora el lector de memorias lo identifica y pone en funcionamiento el sistema.

1. El cilindro A recibe la señal del lector de memorias y desplaza el contenedor de la banda transportadora a la rampa de descarga.
2. El sensor de limite de carrera extendido del cilindro A envía una señal que lo regresa a su posición inicial para que el sistema pueda comenzar nuevamente el proceso de descarga.

En todo momento se cuenta con un botón de paro de emergencia (reset).

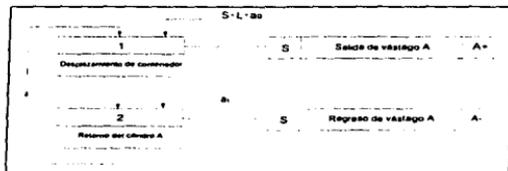


Figura A.5 Diagrama esquemático de movimientos.

Lista de Elementos

Actuadores.- 1 cilindros de doble efecto con especificaciones de diseño adecuadas a la operación.

Elementos de control.- 2 reguladores de caudal, 1 válvulas distribuidoras 5/2 conexión a la derecha de mando eléctrico.

Elementos procesadores.- PLC.

Elementos de señal.- 2 sensores electromagnéticos de limite de carrera, lector de memorias, botón pulsador eléctrico con enclavamiento.

Abastecimiento de energía.- Red de aire comprimido a 6 bar; unidad de mantenimiento; y red eléctrica 120/240 volts.

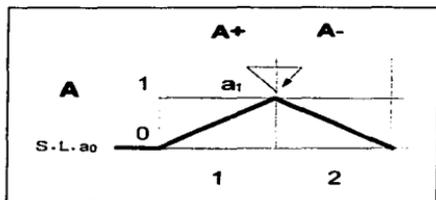


Figura A.6 Diagrama espacio fase.

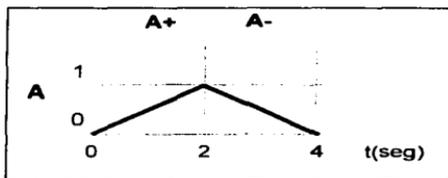


Figura A.7 Diagrama espacio tiempo.

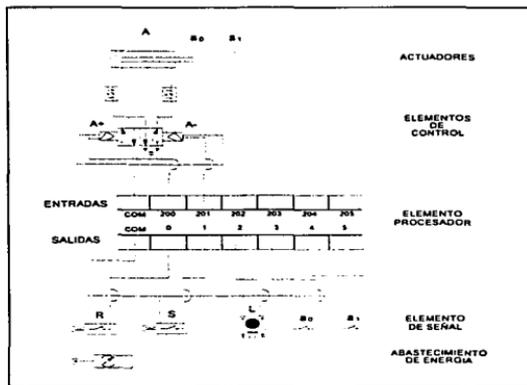


Figura A.8 Diagrama electro neumático.

INTEGRACIÓN EN UN FRAMEWORK

Una integración avanzada está relacionada con una infraestructura para proveer la integración, llamada Framework. Esta infraestructura se basa en el uso de un middleware¹, el cual provee un ambiente totalmente definido para solucionar los problemas de integración en un sólo sentido, administrable, y en un camino de evolución y adaptación constante. Por tanto, un Framework puede ser definido como un habilitador de integración.

La mejor forma de llegar a la integración de los sistemas es simplificando el contexto global en elementos simples y bien definidos. Un Framework debe proporcionar un bus² común de datos, permitiendo la definición de rutas y previniendo la interacción de las diferentes aplicaciones que lo integra, definiendo un simple punto de conexión para cada una de ellas.

De esta forma se pueden agregar, remover o modificar aplicaciones, provocando un pequeño o nulo impacto sobre el sistema en forma global, sin alterar significativamente la configuración y funcionamiento de las demás aplicaciones. Es decir, el Framework da al sistema la habilidad de integración en forma simple y con la transparencia que el usuario demanda.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de como se aplica la integración a través del concepto Framework para los diferentes sistemas, aplicaciones y elementos que intervienen en una empresa donde se manufacture cualquier tipo de producto.

¹ Middleware.- Es un software de interconexión entre el servidor y los clientes.

² Bus.- Medio de transmisión de información entre diferentes componentes de la arquitectura del sistema.

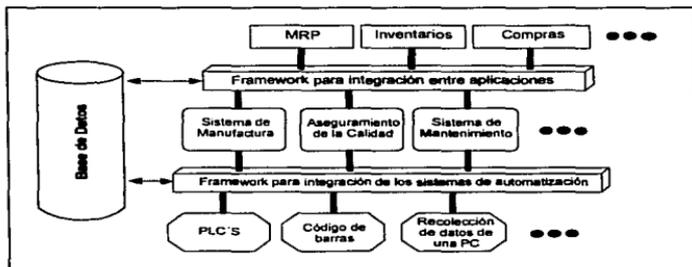


Figura B.1 Integración con un Framework.

La figura anterior hace referencia al concepto "Plug & Play"³. Esto no significa que cualquier aplicación pueda ponerse a trabajar en el Framework sin modificaciones. Las aplicaciones tienen que ser adaptadas para poder hacer uso de los servicios comunes e interactuar con las otras aplicaciones.

En muchos casos, para evitar modificaciones internas en las aplicaciones existentes, se desarrollan adaptadores, los cuales permiten a las nuevas aplicaciones hacer uso de los servicios de intercomunicación propios del Framework. Sin embargo, se deben diseñar las aplicaciones con la capacidad de poder usar en forma transparente los servicios del Framework, evitando la necesidad de un adaptador y permitiendo un verdadero ambiente Plug & Play.

³ Plug & Play.- Término empleado para elementos y aplicaciones que tienen la habilidad de ser conectados y usados sin excesivas condiciones de configuración.

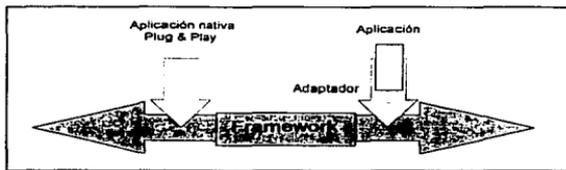


Figura B.2 Concepto Plug & Play.

Por concepto, el diseño y desarrollo de un sistema donde se requieran elementos de automatización, buscando su integración a través de un Framework, debe contener las siguientes características:

Proveer servicios para la administración de la recolección de datos desde los dispositivos de automatización en una forma sencilla.

Permitir a las aplicaciones dividir sus modelos de datos en entidades, que representen lo más posible a los procesos de las áreas de negocio, ya sea por instancia, agrupación de datos de una misma área, línea de producción, centro de maquinado o célula de manufactura.

Proveer de un mecanismo que maneje los eventos, permitiendo (en bajo nivel) la comunicación asíncrona entre aplicaciones.

Por ejemplo una nueva aplicación "Modificación e Inspección de Planes de Producción", pueden ser diseñada y desarrollada en base a las características de funcionalidad implementadas para las aplicaciones, ya existentes, de planeación de la producción, control de piso y logística.

Servicios de un Framework para la Integración de Elementos de Automatización en un Sistema Productivo

Los servicios con los que debe contar un Framework deben responder a las necesidades y expectativas del cliente en cuanto al control y manejo de la producción dentro del sistema. Presentando las siguientes características:

Adquisición de datos

Proveer de poderosos mecanismos y un gran número de controladores (drivers) para el intercambio de datos con el equipo de automatización. Servicios específicos permiten a las aplicaciones tener una interfase uniforme con diversos dispositivos externos, sin importar los detalles de comunicación actual.

Integración de datos

Proveer una base de datos distribuida en tiempo real, que actúa como un bus de datos común y un almacén de datos para las aplicaciones.

Desarrollo e integración de aplicaciones

Proveer un número de poderosos servicios para el desarrollo y la integración de aplicaciones de misión crítica en un ambiente heterogéneo y distribuido (bajo diferentes sistemas operativos). Por ejemplo, servidores para la detección y ejecución de eventos, la administración de aplicaciones y configuraciones, nombres globales y envío de mensajes.

Soporte de estándares

Basar su funcionamiento en los más importantes estándares industriales: MMS (Manufacturing Message Specification - ISO 9506), SQL⁴, DDE⁵ para nodos Ms-Windows, TCP/IP⁶, DCE⁷.

Interfase del usuario

Herramientas para el desarrollo efectivo de interfases para el usuario en aplicaciones basadas en el ambiente Framework.

⁴ SQL - Structured Query Language, lenguaje estandar para explotación de información de bases de datos.

⁵ DDE - Dynamic Data Exchange, librerías para el intercambio de información entre aplicaciones.

⁶ TCP/IP - Protocolo de comunicación.

⁷ Distributed Computing Environment, es un middleware para la distribución de aplicaciones en medios ambientes heterogéneos.

CONCEPTOS DE PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

La programación orientada a objetos se basa esencialmente en los siguientes conceptos:

- Abstracción de datos (encapsulación).
- Herencia.
- Polimorfismo.

Abstracción de Datos y Objetos

La abstracción de datos es el concepto que combina la definición de tipos de datos y ocultación de datos. La idea de abstracción de datos se utiliza para crear un objeto que es una entidad que agrupa en él mismo los datos y las operaciones que afectan a esos mismos datos, o lo que es igual, las funciones que operan los datos en cuestión.



Figura C.1 Concepto de encapsulación.

El concepto de agrupar datos y funciones en un objeto se denomina encapsulación (figura C.1).

La encapsulación hace que el objeto tenga un interfaz público y una representación privada; este principio se conoce como *ocultación de la información*.



Figura C.2 Concepto de ocultación de la información.

En la mayoría de los lenguajes, se define una *clase* para describir el comportamiento del tipo abstracto de datos. En las clases pueden existir zonas *privadas*, de uso restringido a las funciones de la clase y zonas *públicas* de libre acceso fuera del ámbito de la clase. En terminología orientada a objetos, las operaciones que se definen para una clase se denominan *métodos*.

Un *objeto* es una variable declarada (*instancia*) de una clase específica. A los objetos se puede acceder sólo a través de su interfaz público, siempre que esto se permita. Se accede a un objeto enviándole un mensaje, que consta del nombre de una operación y los argumentos requeridos. Cuando un objeto recibe un mensaje, se realizan las operaciones solicitadas ejecutando un *método* (una función). Es decir, los datos no son accesibles desde el mundo exterior del objeto; el único medio para hacer algo a un

objeto es llamando a una de las funciones que implementan el comportamiento del objeto.

Herencia

Herencia es la propiedad por la cual una clase (u objeto) heredan las propiedades de otra, o también, una clase hereda el comportamiento de otra clase. La herencia impone una relación jerárquica padre-hijo entre clases, donde un hijo hereda de su padre. La clase padre se denomina con frecuencia clase *superclase* o clase *base*.

Polimorfismo

Polimorfismo es la propiedad por la cual dos o más clases de objetos responden al mismo mensaje cada uno de forma diferente. Esto significa que un objeto no necesita conocer quién le envía un mensaje; sólo necesita conocer cuantas clases diferentes de objetos han sido definidas para responder a un mensaje en particular.

El polimorfismo juega un papel importante en el paradigma de la programación orientada a objetos y facilita la resolución de problemas. Ayuda a simplificar la sintaxis de realización de la misma operación sobre una colección de objetos.

CONCEPTOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR)

Cuando una personal física o moral decide invertir un capital en un determinado proyecto, debe de tener en mente la tasa mínima de ganancia sobre la inversión a realizar, llamada tasa mínima aceptable de rendimiento o costo de capital.

Es común creer que la TMAR debe ser la tasa máxima que ofrecen las instituciones bancarias para una inversión a plazo fijo, sin embargo haciendo un balance neto entre el rendimiento bancario y la inflación, siempre habrá una pérdida neta del poder adquisitivo o valor real de la moneda si se mantiene el dinero invertido en el banco. Hay que tomar en cuenta que el dinero invertido en un banco no tiene riesgo, y por eso ofrece el interés más bajo de todas las posibles alternativas de inversión, el riesgo es prácticamente cero.

Ahora, si se sabe que el rendimiento bancario es menor que el índice inflacionario vigente, produciendo una pérdida del poder adquisitivo del dinero depositado en un banco, se puede definir como la referencia para establecer la TMAR al índice inflacionario.

También se debe tomar en cuenta, que cuando un inversionista arriesga su dinero, no es atractivo para él mantener solamente el poder adquisitivo de su inversión, sino más bien que se tenga un crecimiento real. Es decir, le interesa un rendimiento que haga crecer a su dinero más allá de haber compensado los efectos de la inflación. Este rendimiento se conoce como

premio al riesgo, el valor que debe tomar no es fácil de establecer, pero en términos generales se considera que un premio al riesgo, habiendo compensado los efectos inflacionarios, debe ser entre 10% y 15%. Esto no es totalmente satisfactorio, ya que su valor debe depender del riesgo en que se incurra al hacer esa inversión, y de hecho, cada inversión es distinta.

Por lo anterior se define a la **TMAR** con la siguiente ecuación:

$$TMAR = i + f + if$$

Donde:

i = índice inflacionario

f = premio al riesgo

La ecuación anterior hace referencia a un proyecto cuya inversión proviene de una sola fuente de financiamiento, la cual puede ser a cargo de los accionistas de la propia empresa, inversionistas de otra empresa o de alguna institución bancaria.

Cuanto el monto total de la inversión proviene de varias fuentes de financiamiento, se considera la **TMAR** y el porcentaje de aporte de capital de cada fuente para obtener la **TMAR** global mixta que se aplicará en la evaluación económica del proyecto.

A continuación se muestra un ejemplo para el cálculo de la **TMAR** aplicable a una inversión con varias fuentes de financiamiento.

Accionista	% Aportación		TMAR	=	Ponderación
Inversionista privado	0.50	x	0.760	=	0.3800
Otras empresas	0.25	x	0.792	=	0.1980
Institución Financiera	0.25	x	0.350	=	0.0875
					0.6655

La TMAR global mixta resultante es de 66.55%; esto significa que es el rendimiento mínimo para pagar 76% de interés sobre el capital aportado por los inversionistas privados; 79.2% de interés sobre el capital aportado por otras empresas y 35% de interés a la aportación bancaria.

Valor Presente Neto (VPN)

Se define como el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Para calcular el VPN se necesitan los flujos netos de efectivo que se obtienen del estado de resultados y de una "tasa de descuento", llamada así porque descuenta el valor del dinero en el futuro a su equivalente en el presente (a los flujos traídos al tiempo cero se les llama flujos descontados). Es claro que para aceptar un proyecto las ganancias deberán ser mayores que los desembolsos, lo cual dará por resultado que el VPN sea mayor que cero.

La ecuación para calcular el VPN es:

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

donde:

- P = Inversión inicial.
- FNE = Flujo neto de efectivo del periodo.
- i = Tasa de descuento.

Para calcular el VPN para un proyecto de inversión se utiliza como tasa de descuento el costo de capital o TMAR. Si se aplicará una tasa de descuento equivalente al promedio inflacionario pronosticado para los próximos cinco años, las ganancias por una inversión determinada sólo serviría para mantener el valor adquisitivo real que la empresa tenía en el año cero, siempre y cuando se reinvirtieran todas las ganancias, obteniendo un VPN con valor cero. Sin embargo se tiene un aumento en el patrimonio de la empresa con $VPN = 0$, si la tasa de descuento (TMAR) aplicada para calcularlo fuera superior a la tasa inflacionaria promedio del periodo.

Por otro lado, si el resultado es $VPN > 0$, sin importar cuánto supere a cero ese valor, esto sólo implica una ganancia extra después de ganar la TMAR aplicada a lo largo del periodo considerado. Eso explica la gran importancia que tiene seleccionar una TMAR adecuada.

Como conclusiones del uso del VPN como método de análisis se tiene lo siguiente:

- Se interpreta fácilmente su resultado en términos monetarios.
- Supone una reinversión total de todas las ganancias anuales, lo cuál no sucede en la mayoría de las empresas.

- Su valor depende exclusivamente de la "i" aplicada. Esta "i" es la TMAR, cuyo valor lo determina el evaluador.
- Los criterios de evaluación son: si $VPN \geq 0$ se acepta el proyecto; si $VPN < 0$, se rechaza.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como la tasa de descuento que hace que el VPN sea igual a cero, o también, como la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Quedando definida por la siguientes ecuaciones:

Para FNE constantes:

$$P = FNE \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right)$$

Para FNE variables:

$$P = \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FNE_n}{(1+i)^n}$$

donde:

- P = Inversión inicial.
 FNE = Flujo neto de efectivo del periodo.
 i = Tasa de descuento.
 n = Periodo.

Se le llama tasa interna de rendimiento por que supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad, es decir se trata de la tasa de rendimiento generada en su totalidad en el interior de la empresa por medio de la reinversión, suponiendo un crecimiento tanto de la producción como físico de la empresa.

Esto no es posible, puesto que hay factores limitantes como son: el espacio disponible, la capacidad de las maquinas y equipo, entre otros. Por lo tanto, la empresa recurre a otras inversiones, ya sea en otras empresas o en creación de sucursales o nuevas empresas. Y al nivel de crecimiento de estas inversiones se le llama tasa externa de rendimiento.

El criterio de aceptación de una inversión haciendo uso de la TIR es: si esta tasa es mayor que la TMAR, se acepta la inversión. Es decir, si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable.

El método de la TIR presenta una desventaja metodológica, ya que cuando se trabaja con FNE diferentes la ecuación puede presentar soluciones que carezcan de sentido económico, como es el caso de no encontrar solución, o de obtener más de dos soluciones.

Existen dos formas básicas de trabajar en la evaluación de proyectos para calcular la TIR: considerar los FNE del primer año constantes a lo largo del horizonte de estudio, y considerar los efectos inflacionarios sobre los FNE en cada periodo. Las condiciones para evaluar con inflación y sin inflación son:

- Para evaluar no se tome en cuenta el capital de trabajo (por razones de liquidez).
- Debe considerarse revaluación de activos al hacer los cargos de depreciación y amortización. Si se aplica valor de salvamento en los activos, se debe tomar en cuenta la inflación.
- En ambos métodos se debe mantener constante el nivel de producción que se estima para el primer año, o se variará bajo las mismas condiciones.
- Si se está considerando el método de FNE constantes, no se puede incluir el financiamiento.
- Cuando hay financiamiento, es necesario restar a la inversión inicial la cantidad prestada.

Si se acepta un proyecto sin financiamiento, en otras palabras, si la TIR del proyecto es mayor que la TMAR del inversionista sin pedir prestado, con financiamiento la TIR aumenta y el proyecto se hace mucho más atractivo, siempre y cuando el capital pedido en préstamo sea menor que el costo de capital propio; esto es, sólo si se utiliza dinero más barato.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Askin, Ronald G.; Modeling and Analysis of Manufacturing Systems.
Ed. John Wiley and Sons Inc.

Serie Mundo Electrónico; Sistemas CAD/CAM/CAE. Diseño y Fabricación por Computadora.

Ed. Marcombo S. A..

Gershein, Stanley B.; Manufacturing Systems Engineering.
Ed. Prentice Hall.

Maleki, Reza A.; Flexible Manufacturing Systems.
Ed. Prentice Hall.

Slack, Nigel; La Ventaja Manufacturera.
Ed. Panorama

Goetsch, David L.; Advanced Manufacturing Technology.
Ed. Delmar Publishers Inc.

Ferré Masip, Rafael; La Fábrica Flexible. Serie Productiva.
Ed. Marcombo.

Kusiak, Andrew; Intelligent Systems Engineering.
Ed. Wiley Interscience.

Martin, James; Análisis y Diseño Orientado a Objetos.
Ed. Prentice Hall.

Rush, Howard; Hoffman, Kurt; Evaluation of the Flexible Manufacturing Systems Scheme. A report by the Brighton Business School.
London: HMSO.

Chryssolouris, Gerorge; Manufacturing Systems. Theory and Practice.
Ed. Springer-Verlas.

Baca Urbina, Gabriel; Evaluación de Proyectos.
Ed. McGraw-Hill.

Wohlmuth, Marcelo; "Flexibilidad en la Manufactura", Revista Manufactura
Volumen 1, Número 8.
Grupo Editorial Expansión.

Rozenberg, Dino; "Automatización. El Signo de la Década", Revista
Manufactura. Volumen 3, Número 21.
Grupo Editorial Expansión.

Festo Pneumatic; Programa de Fabricación.
Festo Pneumatic, S. A.

Reference List August 1995 Telemecanique, Programmable Control and Automation Products.
Telemecanique, Grupo Schneider.

Fichas de Aplicaciones Internacionales de Automatización Telemecanique; Todos los Automatismos y su Solución.

Telemecanique, Grupo Schneider.

Digital; BASEstar. Uniting the World of Manufacturing Applications and Equipment.

Digital Equipment Corporation.

College of Engineering University of Wisconsin - Madison; "Manufacturing and Production Systems".

[Http://www.engr.w.../research/ms.html](http://www.engr.w.../research/ms.html).

Hardvard University, Boston, Ma 02163; "A Flexible Structure for Computer-Controlled Manufacturing Systems".

<http://rigel.hbs....WorkingPaper.html>.

Integrated Kanban System, IKS; "How Works the IKS engine. The Kanban Tools Module Operativo Details".

http://www.isa.de/projetct/iks/kt_mod.html.

Texas A&M University Computer Aided Manufacturing Lab.; "Rapid Prototyping and Development of FMS Control Software for Computer".

<http://tamcam.tamu.edu/rapidcim.html>.

AIME; "Advanced Integrated Manufacturing Environments".

[Http://www.gsm.uc...roject/aime.html](http://www.gsm.uc...roject/aime.html).

Seoul National University, EMS/CIM Center.

<http://asri.snu.ac.kr/istfl.html>.

North/Holland; "Robotics and Flexible Manufacturing Systems".

<http://www.elseve...914.contents.html>.