

01158



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIRECCIÓN DE OPERACIONES EN EL DISEÑO Y  
CONSTRUCCIÓN DE ROBOTS MÓVILES**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**(PLANEACIÓN)**

**PRESENTA:**

**NORMA ELVA CHÁVEZ RODRÍGUEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. SERGIO FUENTES MAYA**



**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**ENERO 2005**

m. 340700



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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

Mi principal agradecimiento es para mi Padre Celestial, por ser mi guía durante todo este trayecto de vida y sobre todo por ayudarme a sacar adelante a mis hijitos.

Al Dr. Sergio Fuentes Maya. Por todo su apoyo, mostrándome la entereza de seguir adelante a pesar de las adversidades.

A todos los maestros, por darme todo el apoyo y conocimiento adquiridos a lo largo de la maestría.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Manuel Elena  
Chavez Rodriguez  
FECHA: 02/02/05  
FIRMA: [Firma manuscrita]

# TEMARIO

	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES</b>	<b>6</b>
1.1 Panorama y estructura de la dirección de operaciones	6
1.2 Nacimiento del sistema	9
1.3 Diseño del producto y selección del proceso	13
1.4 Diseño del sistema	17
1.5 Administración de la cadena de suministro	21
<b>CAPÍTULO 2. PROCESOS DE MANUFACTURA</b>	<b>28</b>
2.1 Cadena productiva	29
2.2 Diseños de sistemas de manufactura	30
2.3 Descripción y análisis del proceso	34
2.4 Proceso general de manufactura propuesto	41
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT</b>	<b>42</b>
3.1 Clasificación de robots	42
3.2 Estructura y bloques del robot	48
3.3 Control y toma de decisiones	54
3.4 Programación del control	59
3.5 Simulación de los movimientos del robot	64
<b>CAPÍTULO 4. APLICACIÓN METODOLÓGICA</b>	<b>66</b>
4.1 Desagregación estructural del trabajo	67
4.2 Proceso de manufactura propuesto	70
4.3 Control del proyecto	72
4.4 Modelo de programación de tiempos y costos	82
<b>CAPÍTULO 5. PRODUCCIÓN DE ROBOTS</b>	<b>87</b>
5.1 Desarrollo de actividades	87
5.2 Planificación de recursos de manufactura	109
5.3 Evaluación de la inversión de un robot móvil	112
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>114</b>

## INTRODUCCIÓN

La creciente intensidad en la competencia internacional está forzando a las compañías a introducir nuevos productos en períodos de tiempo cada vez más cortos. Con ciclos de vida de los productos cada vez más reducidos, la capacidad de una empresa para renovar e introducir nuevos productos se convierte en un instrumento de primer orden para mantener una ventaja competitiva.

Los proyectos fracasan cuando quienes se encuentran implicados no toman en serio la programación del proyecto, debido a tener personal con poca experiencia, el cual no se ajustan a los procedimientos, y en ocasiones tampoco se emplea el tiempo necesario para desarrollar adecuadamente las correspondientes partes de la red de actividades, ni asignan una estimación adecuada de tiempos y costos. Esta actitud, con frecuencia, se mantiene durante todo el proyecto unida a una falta de disposición para revisar los programas. Los proyectos de éxito requieren, tanto de habilidades técnicas como de habilidades humanas.

Las habilidades de tipo técnico se utilizan para identificar las actividades críticas en las que el equipo del proyecto debe centrar sus esfuerzos.

Las habilidades humanas aportarán la motivación y el esfuerzo de equipo necesario para que el proyecto pueda finalizarse a tiempo.

Las empresas que logran el éxito en este entorno tan dinámico, donde el tiempo transcurrido desde el diseño del producto hasta la producción es sólo cuestión de semanas, serán las que entiendan los conceptos de la dirección de operaciones y las herramienta que utiliza para planificar, realizar y controlar sus operaciones, debido a que la dirección de operaciones no es sólo un vago entramado de herramientas, sino más bien una síntesis de conceptos y técnicas que se relacionan directamente con los sistemas operativos, ampliando su control.

Es importante diferenciar la dirección de operaciones, de la investigación de operaciones, de la ciencia de la dirección y de la ingeniería industrial.

La diferencia básica entre la dirección de operaciones y estos campos es la siguiente:

Mientras que la dirección de operaciones es una disciplina de la dirección, la investigación de operaciones y la ciencia de la dirección son ramas de las matemáticas aplicadas y la ingeniería industrial es una disciplina del área de las ingenierías.

Por ello mientras la dirección de operaciones utiliza las herramientas de la investigación de operaciones y la ciencia de la dirección en la toma de decisiones, referidas éstas a muchos de los mismos aspectos que trata la ingeniería industrial, la dirección de operaciones tiene un papel diferenciado en la dirección de empresas que la distingue de la investigación de operaciones, la ciencia de la dirección y la ingeniería industrial. El objetivo de este trabajo es aplicar la dirección de operaciones tanto en el diseño y construcción de un robot móvil, como en la producción de diez robots móviles con rutas programadas según las necesidades de cada cliente.

El trabajo se divide en dos partes; la parte teórica y la parte práctica.

La parte teórica contiene cinco capítulos.

En el primer capítulo se manejan los conceptos de la dirección de operaciones y las técnicas fundamentales que se necesitan para obtener un desempeño de clase mundial en las operaciones de manufactura. Además de la importancia que reviste este campo en términos de competitividad corporativa, examina el diseño de productos y las opciones de los procesos que establecen las bases del sistema de producción, analizando la importancia de la calidad como bloque de construcción fundamental entorno al cual se diseñan los sistemas, en seguida se contempla el diseño de las diversas partes del sistema de producción, se continúa con un cubrimiento amplio de las herramientas que se requieren para administrar las operaciones del día a día de la cadena de suministro, incluyendo métodos para trabajar con proveedores, proyectar la demanda y planear requerimientos de capacidad a corto plazo, diseñar sistemas de control de inventario, también se provee información acerca de la "Gerencia de proyectos". En el capítulo dos se maneja el diseño del producto y la selección del proceso. El diseño del producto explica brevemente las bases del desarrollo de conceptos y la planificación del producto. En la selección del proceso se analizan los diferentes tipos de procesos y la estructura del flujo de proceso. Al final de este capítulo se hace una propuesta de un proceso general de manufactura. En el capítulo tres se explica ampliamente la forma tradicional de diseñar y construir un robot móvil, empezando por los materiales necesarios, la estructura del robot, y los distintos bloques para su construcción, también explica el software necesario para manejar el control y programación utilizando el lenguaje Verilog-hdl, un dispositivo lógico programable (CPLD o FPGA) y la plataforma que maneja este tipo de lenguajes "MAX+PLUS II".

También se analiza la simulación en computadora del comportamiento de los movimientos del robot móvil y al final de este capítulo se ve la forma de construir el robot y se hacen las pruebas de funcionamiento pertinentes. El capítulo cuatro empieza por explicar la forma de diseñar y construir un robot móvil mediante la dirección de operaciones, a través de la desagregación estructural del trabajo, proponiendo un proceso de manufactura especial para el proceso de un robot móvil, por medio del modelo de programación de tiempos y costos y desarrollo de las actividades para la construcción del robot. El capítulo cinco desglosa las actividades necesarias para el diseño y construcción de un robot móvil, para posteriormente hacer una planificación de los recursos y la producción de 10 robots mostrando los reportes necesarios para esa producción. Este capítulo finaliza con la evaluación de un robot de tamaño medio, que pueda servir a cualquier empresa para hacer la función de mensajero. Todos los robots de este proyecto, se diseñan y producen en forma similar y únicamente en la última etapa, la cual es la de "programación del control", se diferencian para que cada uno maneje las rutas deseadas por cada cliente.

Los robots móviles que se pretenden construir con este proyecto tienen dimensiones pequeñas, pero de un tamaño adecuado para que se desempeñen como mensajeros entre un lugar y otro, debido a los costos de producción, sin embargo, la metodología utilizada para su diseño, desarrollo y construcción puede servir de apoyo para construir y programar robots, incluso del tamaño de una persona. En la parte práctica de este proyecto se pretende diseñar y construir, mediante el uso de la dirección de operaciones, una producción real de al menos diez robots móviles que cumplan ciertas tareas de mensajería en esos lugares que se encuentren en el mismo nivel, debido que los robots no son capaces de subir o bajar escaleras. Uno de los motivos más importantes de seleccionar la dirección de operaciones en este proyecto de tesis es porque para la realización de cualquier proyecto es necesario manejar la cantidad de recursos requeridos, tiempo y costos antes de iniciarlo, al igual que monitorear las distintas actividades e identificar qué tareas tienen cierta holgura y cuáles son tareas críticas que no deben retrasarse, porque demorarían la finalización del proyecto. Además es necesario controlar situaciones en las cuales exista una demora en alguna actividad crítica, ya que esto requiere recorrer el tiempo y aumentar el costo. Lo que nos lleva a la necesidad de utilizar la dirección de operaciones.

## **CAPÍTULO 1. CONCEPTOS GENERALES**

Este capítulo está organizado en torno a las diferentes etapas por las que atraviesa un sistema de producción en su ciclo de vida desde su nacimiento hasta su madurez. Y comienza por analizar el nacimiento del sistema mediante la estrategia competitiva, según la cual deberá operar el sistema, posteriormente trata lo relacionado con el diseño del producto y selección del proceso mediante el análisis de la forma del producto de manufactura, forma en que se desarrolla y se selecciona la tecnología para fabricar el producto y forma de conseguir una alta calidad. Después se analiza el diseño del sistema, haciendo un análisis de la capacidad que se requiere, forma de diseñar un sistema justo a tiempo, arreglo físico que resulta más conveniente y forma de medir el aprendizaje, posteriormente se explica la administración de la cadena de suministro y la forma de administrar a los proveedores y las adquisiciones, también se hace un análisis de cómo se proyecta la demanda continuamente y forma de administrar las actividades del día a día de la planificación de producción, programación y sistemas de inventario para demanda dependiente, utilizando sistemas de tipo MRP, al final de este capítulo se hace una revisión del sistema.

### **1.1. PANORAMA Y ESTRUCTURA DE LA DIRECCIÓN DE OPERACIONES**

La dirección de operaciones se define como el diseño, la operación y el mejoramiento de los sistemas de producción que crean los bienes o servicios de la compañía. A semejanza de la mercadotecnia y las finanzas, la dirección de operaciones es un campo empresarial funcional con responsabilidades claras de gerencia de línea. La figura 1.1, muestra la forma directa en la que la dirección de operaciones está involucrada con la estrategia corporativa y al mismo tiempo mediante la gerencia de operaciones está ligada al sistema de producción. En la figura 1.2, se puede observar el ciclo del sistema de producción general que consta de cinco bloques. Cualquier sistema de producción cae en al menos en dos o tres bloques contenidos dentro de este ciclo general de producción.

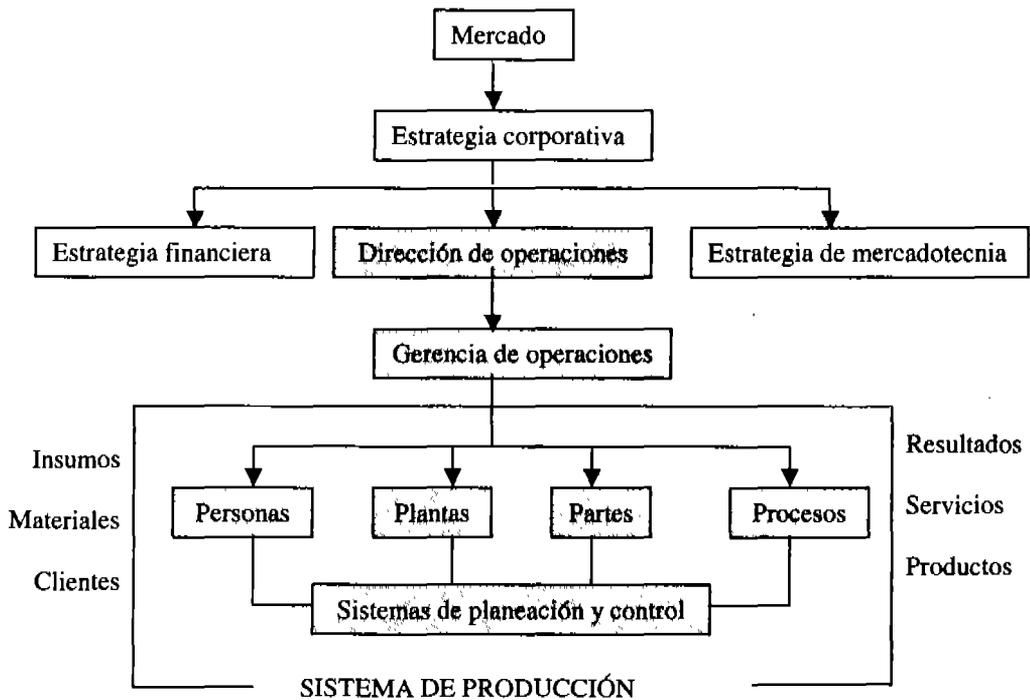


Figura 1.1 MODELO SINTETIZADO DEL CAMPO DE LA DIRECCIÓN DE OPERACIONES

Como puede observarse en el “Modelo sintetizado del campo”, el control del sistema de producción depende de la dirección de operaciones, y la dirección de operaciones se crea con base en la estrategia corporativa.

La estrategia corporativa es la forma en que los ejecutivos de más alto rango, dentro de una organización agregan valor a sus empresas

La dirección de operaciones es la responsable directa de las operaciones gerenciales dadas a las personas, plantas, partes y procesos del sistema de planeación y control de cualquier sistema de producción.

Todo sistema de producción requiere de tres grandes rubros:

- Recursos: Materia prima, necesaria para producir un bien o servicio
- Transformación: Serie de procesos necesarios para obtener ese bien o servicio
- Resultados: Bienes o servicios obtenidos

Como se muestran en la figura 1.2, el ciclo general de cualquier sistema de producción empieza con el nacimiento del sistema en el cual se hace un análisis de las metas de la empresa creando la logística de la dirección de operaciones. El siguiente paso es hacer un análisis del diseño del producto y selección del proceso seleccionando la tecnología para fabricar y conseguir una alta calidad del producto al menor costo posible. Una vez obtenido el diseño del producto se requiere hacer el diseño del sistema, creando la capacidad necesaria y un sistema de almacenamiento además de diseñar la forma de efectuar y medir trabajo y aprendizaje. Una vez implementado el sistema se requiere crear la logística para administrar la cadena de suministro administrando las actividades diarias de producción, programación e inventario. Al final del ciclo general de producción, se hace una revisión del sistema analizando la forma de administrar el crecimiento y el cambio de herramientas.

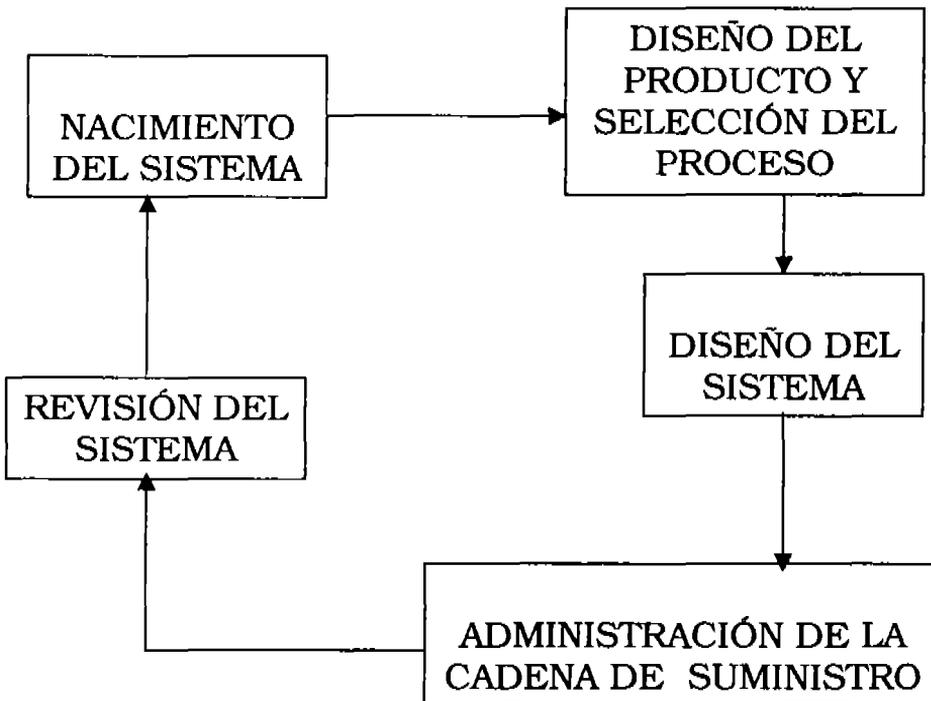


Figura 1.2. CICLO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN

## 1.2 NACIMIENTO DEL SISTEMA

El nacimiento del sistema debe responder a las siguientes cuestiones:

¿Cuáles son las metas de la compañía? ¿Cómo se relaciona la dirección de operaciones con las metas de la compañía? Y ¿Cómo se administra un proyecto?

Las dos primeras preguntas se responden mediante la estrategia de operaciones.

La estrategia de operaciones se refiere a la formulación de políticas amplias y el diseño de planes para utilizar los recursos de la empresa, de modo que apoyen de la mejor manera posible la estrategia competitiva de la firma a largo plazo. La estrategia de operaciones de una firma se interrelaciona con la estrategia corporativa. Es complicado definir lo que es estrategia, sin embargo se puede tener una definición blanda y otra dura.

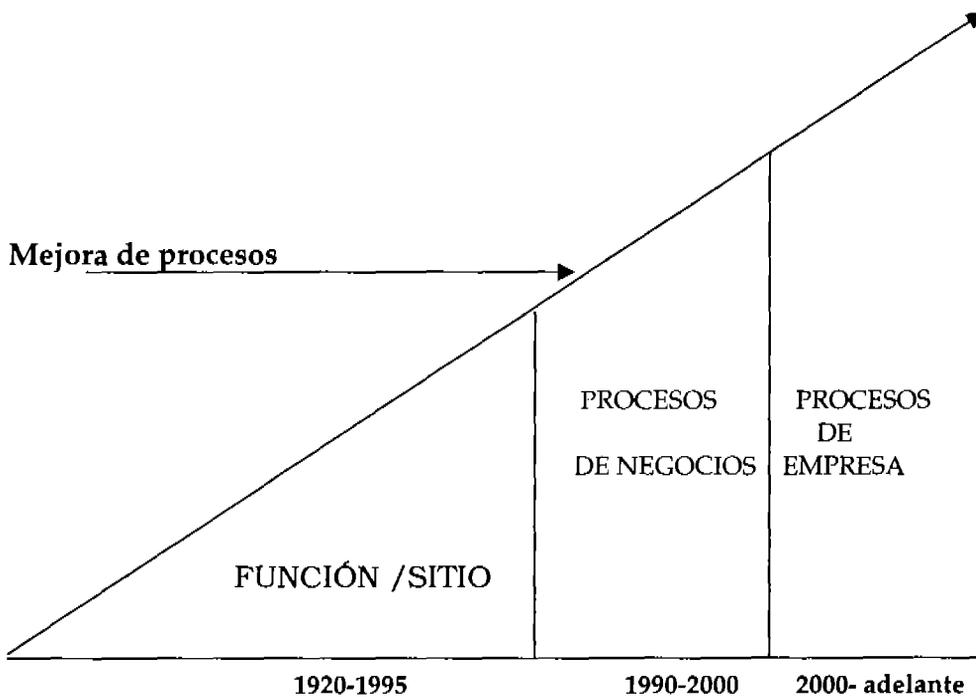
Estrategia definición blanda: "Estrategia es el arte de superar al adversario a sabiendas de que éste está intentando hacer lo mismo contigo" (Avinash K. Dixit).

Estrategia definición dura: "Estrategia es el arte de superar al adversario con independencia de que él sepa lo que estás tramando"(Nalebuff).

La estrategia corporativa es la forma en que los ejecutivos de más alto rango dentro de una organización agregan valor a sus empresas. Sin embargo es difícil tener una visión integradora y distintiva capaz de agregar valor a nivel corporativo.

La dirección de operaciones implica decisiones relacionadas con el diseño de un proceso y la infraestructura necesaria para servir de soporte a dicho proceso. El diseño del proceso incluye la selección de tecnología apropiada, la evaluación del proceso en el tiempo, el papel que desempeña el inventario en el proceso y la ubicación del mismo. Se han identificado varias prioridades básicas en las operaciones. Estas prioridades incluyen costo, calidad y contabilidad del producto, velocidad de entrega, contabilidad de entrega, capacidad para afrontar cambios en la demanda, flexibilidad y velocidad de introducción de nuevos productos y otros criterios específicos de un producto determinado.

La profesora Aleda Roth de la Universidad del Norte de Carolina en Chapel Hill, propone un "mapa estratégico" el cual se muestra en la figura 1.2. Éste mapa estratégico, esboza su visión sobre la estrategia de la dirección de operaciones en manufactura haciendo un análisis de las prioridades competitivas, los criterios de procesos y fuente de valor agregado que se tenían.



MANUFACTURA	1929-1980 PRODUCCIÓN MASIVA	1990-1995 PRODUCCIÓN RACIONALIZADA	1990-2000 MANUFACTURA ÁGIL	2000- futuro AGILIDAD ESTRATÉGICA
PRIORIDADES COMPETITIVAS	Costo	Calidad	Entrega	Flexibilidad y Fábrica De Conocimiento
CRITERIO DE PROCESOS	Eficiencias De escala	Mejoras continuas	Tiempo de respuesta rápido	Personalización masiva
FUENTE DE VALOR AGREGADO	Equipos de trabajo	Sistemas de Cadena de suministro	Pericia en Procesos y relaciones	Sistemas Inteligentes

Figura 1.2.1. VISIÓN DE LAS CAPACIDADES SEGÚN LAS OPERACIONES EN MANUFACTURA

La pregunta tres “¿Cómo se administra un proyecto?”, se contesta con la dirección de proyectos.

La dirección de proyectos se puede definir como la planeación dirección y control de recursos (personas, equipos materiales) para cumplir con las restricciones técnicas, de costos y de tiempo del proyecto. Un proyecto es una serie de tareas relacionadas que por lo general están dirigidas a la consecución de un resultado importante que requiere de un período significativo de tiempo para realizarse.

Una tarea es una subdivisión adicional de un proyecto. Por lo general no dura más de unos meses y es realizada por un grupo u organización. Si es preciso subdividir adicionalmente el proyecto, se puede utilizar una sub-tarea. Antes de dar inicio al proyecto se debe decidir cuál de las tres estructuras organizacionales se va a utilizar para vincular el proyecto a la firma matriz: proyecto puro, proyecto funcional o proyecto matriz. Si se escoge la modalidad de matriz, diferentes proyectos (fila de matrices) toman prestados recursos de áreas funcionales (columnas). Si se selecciona el de proyecto puro un equipo autárquico trabaja de tiempo completo en el proyecto y las ventajas que se tienen son que los miembros del equipo sólo tienen que reportarse con un jefe, las líneas de comunicación se acortan por lo que las decisiones se toman rápidamente, pero las desventajas son que los equipos y las personas no se comparten con otros proyectos, se ignoran las metas y políticas organizacionales y sus divisiones funcionales se debilitan. Además, como los miembros no tienen un lugar específico después del proyecto sus integrantes tienden a alargar la terminación.

El proyecto funcional tiene la ventaja de que un miembro del equipo puede trabajar en varios proyectos, ya que los especialistas funcionales pueden avanzar verticalmente, pero la motivación de los miembros del equipo tiende a ser débil y las necesidades del cliente tienen una importancia secundaria y se satisfacen con lentitud. Independientemente de cuál de las tres modalidades organizacionales se utilice es necesario hacer la programación de la ruta crítica. La programación de la ruta crítica se refiere a una serie de técnicas gráficas que se utilizan en la planeación y el control de proyectos.

En cualquier proyecto, los tres factores que interesan principalmente son el tiempo, el costo y la disponibilidad de recursos. Las técnicas de programación de ruta crítica muestran un proyecto de manera gráfica y relacionan las tareas que lo componen de forma que se concentre la atención en aquellas que resultan cruciales para completar el proyecto. Para poder aplicar las técnicas de programación de ruta crítica, un proyecto debe tener las siguientes características:

- Tener tareas definidas cuya terminación señale el fin del proyecto
- Tareas independientes dentro de una secuencia determinada

Las técnicas con base de tiempo utilizadas son PERT y CPM las cuales se concentran en buscar el camino de consumo de tiempo más largo en una red de tareas como base para planear y controlar un proyecto. Tanto el PERT como el CPM utilizan nodos y flechas en sus diagramas. Las diferencias entre estas dos técnicas dejaron de existir por lo que se emplean indistintamente y ambos se refieren a lo mismo. Antes de utilizar estas herramientas, la información del proyecto se debe mostrar indicando todas las tareas que se realizarán en el proyecto, un ejemplo de una tabla con la descripción de cada una de las tareas se puede observar en la tabla de la figura 1.2.2.

Otro tipo de técnica utilizada son los modelos de tiempo-costo debido a que en la práctica el costo incurrido para la terminación del proyecto interesa tanto, como el tiempo en que se debe culminar. Los modelos tiempo-costo, extensiones del PERT y CPM buscan desarrollar una programación de costos mínimos para un proyecto completo y controlar los gastos durante el mismo.

Además de programar cada tarea es necesario asignar recursos. El software moderno resalta rápidamente las sobre-asignaciones, es decir, las situaciones en las que las asignaciones exceden los recursos. Para resolver manualmente las sobre-asignaciones, se pueden agregar recursos o reprogramar. El mover una tarea dentro de su holgura puede liberar recursos. El software de sistemas de información para la administración de proyectos "project management information systems (PMIS), de mediano a alto nivel, puede resolver las sobre-asignaciones mediante una característica de "nivelación".

La verdadera acción comienza cuando el proyecto está en curso. El progreso real diferirá del progreso original o de base que se había planeado. El software incluye varios planes de base diferente, de modo que puede comparar instantáneas mensuales. Las desviaciones entre el inicio y la terminación planeados y el inicio y la terminación nuevamente programada aparecen, y se puede aplicar un "filtro deslizante" para resaltar o identificar únicamente las tareas programadas para terminar en una fecha posterior a la básica planeada.

DESCRIPCIÓN DE LA TAREA
Iniciación del proyecto
Plan del proyecto
Fase de análisis
Entrevistas del usuario del plan
Examinación y prueba
Diseño
Prueba
Puesta en práctica
Revisión post-implementación

Figura 1.2.2. EJEMPLO DE DESCRIPCIÓN DE TAREAS

### 1.3. DISEÑO DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DEL PROCESO

Para hacer el diseño del producto y selección del proceso se debe analizar cuál es la forma del producto manufacturado, cómo se desarrolla y se selecciona la tecnología para fabricar el producto, al igual de cómo conseguir una alta calidad.

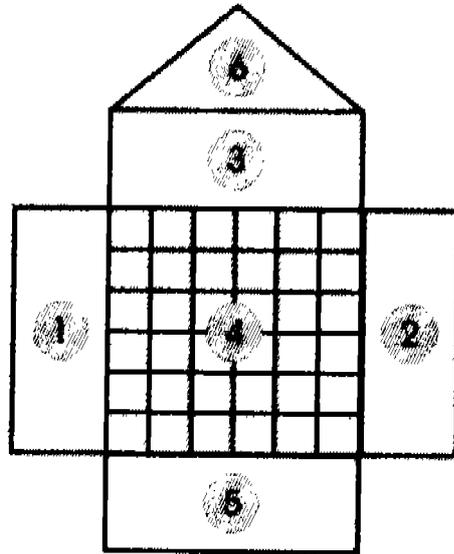
Diseñar nuevos productos e introducirlos rápidamente al mercado es el reto que afronta el sector manufacturero en industrias tan disímiles como chips de computadoras y papas fritas. El desarrollo de un nuevo producto implica una compleja serie de actividades que se relacionan con la mayor parte de las funciones de una empresa. Antes de que se pruebe el desarrollo de un nuevo producto, las compañías también procuran probar el concepto mediante ensayos a pequeña escala.

Estas pruebas pueden implicar la construcción de modelos y el intercambio de ideas con clientes potenciales. Una vez probado el proyecto para la fabricación de un nuevo producto pasa a la etapa de ingeniería detallada. Las principales actividades en esta fase son el diseño y la construcción de prototipos funcionales, el desarrollo de las herramientas y el equipo que se utilizarán en la producción comercial. La conclusión de la ingeniería detallada en el desarrollo del producto es la señal de aprobación "sing-off" de ingeniería, que significa que el diseño cumple con los requerimientos. La fase final del desarrollo es el lanzamiento. Diseñar un producto que complazca al cliente es un arte y construir el producto es aplicar la ciencia.

La planeación efectiva de procesos exige un entendimiento claro sobre lo que la fábrica puede y no puede hacer con relación a las estructuras del proceso. El diseño concentrado en la estética y el usuario, por lo general se conoce como diseño industrial. Muchos productos presentan demasiadas características tecnológicas, a veces más de las necesarias. Lo cierto es que la mayor parte de los compradores de productos electrónicos no los operan adecuadamente y sólo utilizan una pequeña parte de las características disponibles. Una herramienta para incluir las opiniones del cliente, en las especificaciones del diseño de un producto, es el despliegue de la información sobre los requerimientos del cliente en una gráfica matricial denominada "La casa de la calidad".

La matriz de "La casa de la calidad", es una herramienta para diseñar los procesos de la organización o empresa en respuesta a las necesidades de los clientes. Esta herramienta traduce lo que el cliente desea en lo que la organización produce, permitiendo a una empresa priorizar las necesidades de los clientes, y encontrar respuestas innovativas a esas necesidades, además de mejorar procesos hasta una efectividad máxima. "La casa de la calidad" es una herramienta que conduce a mejoras del proceso permitiendo a una empresa sobrepasar las expectativas del cliente.

La figura 1.3.2 muestra los puntos que maneja una "casa de la calidad". El punto uno indica los requerimientos del cliente, en el punto dos se escribe la tabla de planificación de la calidad, la cual maneja cinco puntos donde el punto cinco significa el punto de mayor calidad, en el punto tres se escriben las características de calidad, el punto cuatro maneja la matriz de relaciones, el punto cinco hace una evaluación técnica la cual maneja cinco puntos indicando la evolución competitiva, el punto seis maneja la matriz de correlaciones, estas correlaciones pueden ser fuerte positiva, positiva, negativa y fuerte negativa.



- ① REQUERIMIENTOS DE CALIDAD
- ② TABLA DE PLANIFICACION DE LA CALIDAD
- ③ CARACTERISTICAS DE CALIDAD
- ④ MATRIZ DE RELACIONES
- ⑤ TABLA DE PLANIFICACION ESTANDARES
- ⑥ MATRIZ DE CORRELACIONES

Figura 1.3.2. MATRIZ DE LA CASA DE LA CALIDAD

La selección de procesos se refiere a la decisión estratégica de seleccionar el tipo de procesos de producción que debe tener en la planta. Un ejemplo de la selección de procesos puede verse en el ensamble de una computadora, en donde la figura 1.3.3.a muestra sus componentes.



Figura 1.3.3.a. COMPONENTES DE UNA COMPUTADORA

El diagrama de ensamble de una computadora se realiza utilizando el concepto de diagrama de flujo.

El diagrama de flujo es un algoritmo gráfico que representa una sucesión de pasos o procesos necesarios para representar el comportamiento de un sistema o para producir un bien o servicio. Esto puede observarse en el ejemplo mostrado en la figura 1.3.3.b, que muestra el diagrama de flujo necesario para el ensamble de una computadora, donde la información que aparece dentro de cada uno de los símbolos de ensamble define entre otras cosas como se integran las partes, su orden de ensamble y con frecuencia el patrón global de flujo de materiales. Un diagrama de flujo de proceso indica lo que le sucede al producto a medida que avanza por la línea de producción. Cada diagrama de flujo requiere ser acompañado por una hoja de operaciones y ruta, en esta hoja se especifica la ruta de operaciones que se necesita. La planeación detallada de un proceso exige determinar los pasos del proceso en sí. Un proceso que es una serie de tareas que transforman insumos en un producto deseado, suele constar de una serie de tareas, un flujo de materiales e información que conecta la serie de tareas y almacenamiento de materiales e información.

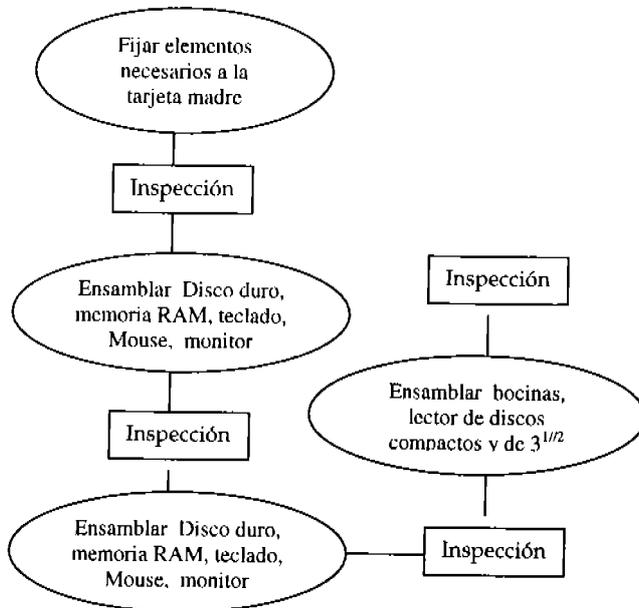


Figura 1.3.3.b. DIAGRAMA PARA EL ENSAMBLE DE UNA COMPUTADORA.

#### 1.4. DISEÑO DEL SISTEMA

Para diseñar el sistema se necesita hacer un análisis de la capacidad que se requiere. ¿Cómo se diseña un sistema justo a tiempo? ¿Donde se deben ubicar las instalaciones? ¿Cuál es el arreglo físico que resulta más conveniente? ¿Como se efectuarán y medirán los trabajos? ¿Cómo se remunerará a los trabajadores? Y ¿Cómo se mide el aprendizaje? La planeación estratégica de la capacidad implica una decisión de inversión que debe igualar la capacidad de los recursos con una proyección de la demanda a largo plazo. Los factores que deben tenerse en cuenta al seleccionar el aumento de capacidad son:

- Los efectos probables de las economías a escala
- Los efectos de las curvas de experiencia
- El impacto de cambiar el enfoque de las instalaciones y el equilibrio entre las etapas de producción
- El grado de flexibilidad de las instalaciones y de la mano de obra.

El JIT (Justo a Tiempo) representa una herramienta poderosa para reducir el inventario y mejorar la producción y las operaciones. La aplicación de sus principios puede redundar en muchas mejoras, pero a sus usuarios se les debe advertir que dicha aplicación no es universal. La implantación del JIT enfrenta muchos problemas producidos por la resistencia al cambio que oponen muchos empleados. El JIT es una filosofía que considera el diseño del producto, el diseño del proceso, el equipo, la selección, manejo de materiales, el aseguramiento de la calidad, el diseño de trabajo y las mejoras en la productividad.

Como es difícil lograr un plazo de entrega cero y un tiempo inactivo cero, algunos proyectos JIT se realizan rápidamente y luego se olvidan. Las decisiones sobre ubicación de las instalaciones son un elemento fundamental del plan estratégico general de la empresa. En la figura 1.4.1 se observan los requisitos de implementación del JIT. Estas sugerencias se orientan hacia a sistemas de producción repetitivos, es decir, aquellos que fabrican los mismos productos una y otra vez. Es preciso tener en cuenta que estos elementos están relacionados: todo cambio en una parte del sistema de producción tiene un impacto en otras características del mismo.

Las decisiones sobre las instalaciones son un elemento fundamental del plan estratégico general de cualquier empresa. Asimismo grandes cambios del escenario geopolítico mundial, aunados a los rápidos progresos de la tecnología, les han ofrecido a los encargados de tomar las decisiones, toda una gama de opciones y oportunidades para ubicar sus empresas. Los criterios de selección adecuada de ubicaciones también han superado el criterio único de minimización de costos o de distancias. Actualmente las decisiones en materia de ubicación se ven afectadas por una serie de aspectos cuantitativos y cualitativos.

El éxito a largo plazo de una compañía, depende de la capacidad de su gerencia para lograr una síntesis integral de las dimensiones del polifacético problema de la ubicación. En la figura 1.4.1 se muestra el método general para obtener una producción “justo a tiempo”.

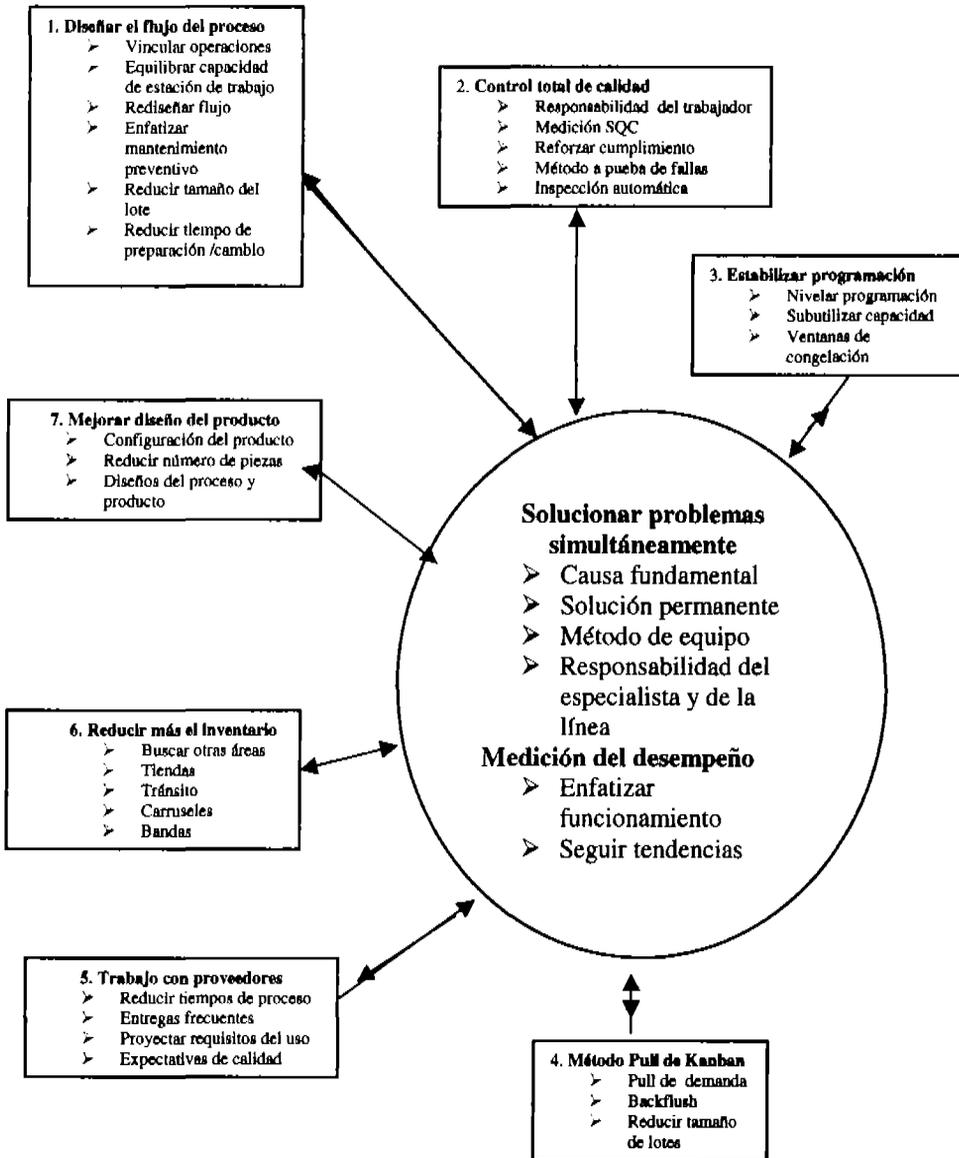


Figura 1.4.1. MÉTODO DE PRODUCCIÓN JUSTO A TIEMPO

La distribución de las instalaciones es la parte crucial del diseño y la operación de un sistema de producción. Una buena distribución en una fábrica u oficina pueden proporcionar una ventaja competitiva real facilitando los procesos de flujo de información y de material. Puede también mejorar la vida de los empleados. Las finalidades de una buena distribución para la industria manufacturera son:

- Patrón de flujo en línea recta
- Vuelta atrás manteniendo el nivel mínimo
- Tiempo de producción predecible
- Poco almacenamiento de material entre etapas
- Los pisos de la planta están abiertos de forma tal, que todos pueden ver lo que está ocurriendo
- Operaciones de cuello de botella bajo control
- Las estaciones de trabajo están cerca las unas de las otras
- Manejo y almacenamiento de materiales ordenado
- No existe un manejo innecesario de los materiales
- Fácilmente ajustable a las condiciones cambiantes

Para las tendencias actuales en el diseño de trabajos se requiere tomar en cuenta que existe un factor muy claro: la globalización y la aplicación exitosa de tecnologías de procesos complejas que le confieren al elemento humano una importancia incluso mayor en la competitividad operacional. Giggi, Roth y Seal especulan que el siglo XXI se caracterizará por el renacimiento del recurso humano. En opinión de estos autores, el renacimiento consistirá en que las compañías cultivarán sus recursos humanos mediante una cuidadosa selección y capacitación de los mejores y más brillantes empleados, poniendo en marcha programas innovadores de participación de éstos, con base en equipos, desarrollando enfoques de gerencia participativa genuina y capacitando constantemente a sus empleados. La curva de experiencia es un concepto bien conocido.

En la medida que las plantas producen más artículos, obtienen experiencia en los mejores métodos de producción, lo cual reduce sus costos en esta área de manera predecible. Cada vez que la producción acumulada de una planta se duplica, sus costos de producción se reducen en un porcentaje específico que depende de la naturaleza de la empresa. Ver figura 1.4.2.

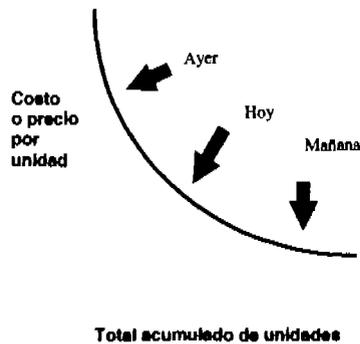


Figura 1.4.2. CURVA DE EXPERIENCIA

Las curvas de experiencias varían en las diferentes industrias. Las plantas más grandes pueden tener una ventaja de costos de doble vía sobre sus competidores.

Una planta más grande no sólo gana con las economías a escala sino que también producirá más, lo cual le dará ventaja también en la curva de experiencia. Las grandes compañías con frecuencia suelen usar esta doble ventaja, como una estrategia competitiva, construyendo primero una gran planta con considerables economías a escala y utilizando luego sus menores costos para fijar sus precios de manera agresiva e incrementar su volumen de ventas. El mayor volumen los hace avanzar en la curva de experiencia más rápidamente que sus competidores, permitiéndole a la compañía disminuir aún más sus precios, con lo cual alcanza un volumen todavía mayor. Existen, sin embargo, dos criterios que deben cumplirse para que esta estrategia sea exitosa:

- El producto debe satisfacer las necesidades del cliente.
- La demanda debe ser lo suficientemente grande para soportar el volumen.

## 1.5. ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS

En el sector manufacturero, las dos terceras partes de los costos de los bienes fabricados son materiales comprados. Debido a esto, la cadena de suministro y la función de las compras han adquirido perfiles elevadísimos y están siendo colocadas en altos niveles organizacionales. Los cambios más significativos realizados en la cadena de suministro son el paso hacia el outsourcing y la utilización de vendedores internacionales.

Los vendedores de todo el mundo no sólo compitan mediante sus propios esfuerzos de mercadotecnia, sino que son agresivamente buscados por los compradores que indagan respecto de fuentes confiables y de bajos costos. El manejo de la cadena de suministro está pasando, en gran medida, al vendedor. Los contratos de compra están ahora vinculados a programas de entrega para el vendedor. La entrada del flujo de información electrónica ha pasado las actividades de rutina al vendedor, permitiéndole un acceso directo a los datos del punto de ventas y dándole responsabilidad por la proyección y entrega de su producto según la necesidad.

Estas relaciones tienden a extenderse a largo plazo y hacen que la selección de los vendedores sea incluso más importante. Como se muestra en los recuadros de la figura 1.5.1, el desarrollo de un sistema de proyección no es fácil. Sin embargo, debe hacerse ya que la proyección es fundamental en cualquier esfuerzo de planeación. A corto plazo la proyección es necesaria para predecir los requerimientos de materiales, productos servicios y otros recursos que se necesitan para responder a los cambios de la demanda. Las proyecciones permiten ajustar los programas y hacer variaciones en la mano de obra y los materiales. A largo plazo la proyección es necesaria, como base para los cambios estratégicos, tales como el desarrollo de nuevos mercados, de nuevos productos y servicios y la creación o expansión de nuevas instalaciones.

Con las proyecciones a largo plazo, que lleva a grandes compromisos financieros, hay que tener cuidado al derivar la proyección.

Los métodos causales, tales como el análisis de regresión o el análisis de regresión múltiple, son beneficiosos y proporcionan una base de estudio. Es necesario considerar los factores económicos, las tendencias de los productos, los factores de crecimiento y la competencia, igual que muchas otras variables y la proyección debe ajustarse para que refleje la influencia de cada una de ellas. La proyección a corto y mediano plazo (tal como la requerida para el control de inventario y para la programación del personal y de los materiales) puede satisfacerse con los modelos más simples como el ajuste exponencial con un rasgo adaptable o un índice estacional.

En estas aplicaciones normalmente se proyectan miles de artículos, en consecuencia la rutina de la proyección debe ser sencilla y de ejecución rápida con la ayuda de una computadora, esto puede observarse en la figura 1.5.1, la cual muestra un ejemplo de tendencias lineales de tipo común cuales ayudan a observar si los productos producidos en una empresa, van de acuerdo a las compras de estos por los clientes, o se requiere hacer modificaciones a los productos porque los

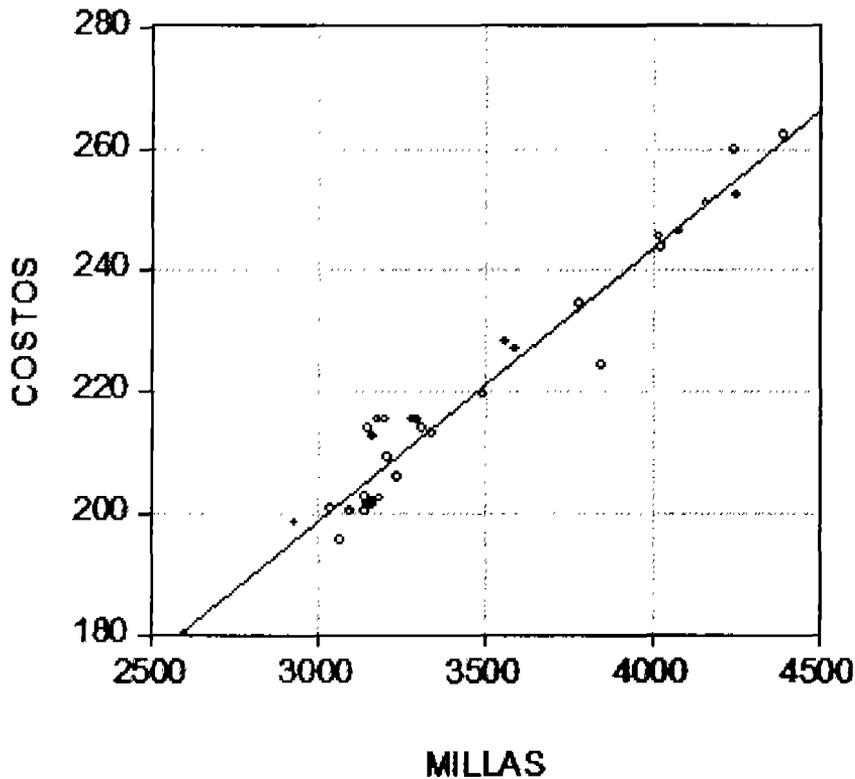


Figura 1.5.1. TIPO COMÚN DE TENDENCIA LINEAL

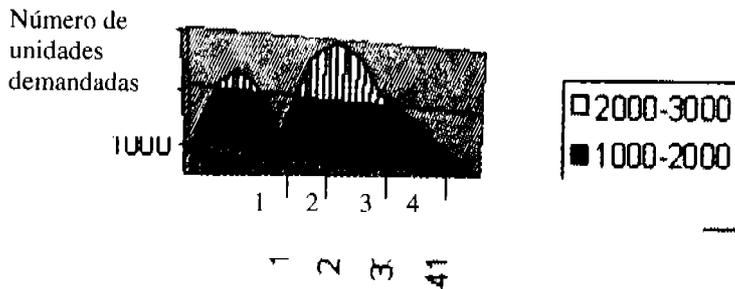


Figura 1.5.2. DEMANDA HISTÓRICA DE PRODUCTOS CON TENDENCIA DE CRECIMIENTO Y DEMANDA ESTACIONAL

La demanda de productos y servicios se divide en seis componentes: demanda promedio para el período, tendencia, elemento estacional, elemento cíclico, variación aleatoria y auto-correlación. La figura 1.5.2. Ilustra una demanda sobre un período de cuatro años, mostrando con color amarillo la demanda estacional.

Una proyección perfecta es como meter un gol en un partido de fútbol: esto es magnifico, pero sólo es posible estar satisfecho cuando se gana la copa .

La filosofía ideal es crear la mejor proyección que pueda, razonablemente, hacerse y luego igualarla, manteniendo la flexibilidad del sistema para dar cuenta de los errores que inevitablemente se presentan. La planeación total traduce los planes estratégicos corporativos y de capacidad a amplias categorías de tamaño de fuerza laboral, cantidad de inventario y niveles de producción. No realiza una planeación detallada.

Es útil también señalar algunas consideraciones prácticas relacionadas con la planeación total: En primer lugar las variaciones de la demanda son un hecho de la vida, así que el sistema de planeación debe incluir una flexibilidad suficiente para ajustarse a dichas variaciones. La flexibilidad se logra desarrollando fuentes alternativas de suministro, realizando una capacitación cruzada para que los trabajadores manejen una amplia variedad de pedidos y emprendiendo una replaneación más frecuente durante los períodos de alta demanda.

En segundo lugar es necesario adherirse a las normas de decisión para la planeación de la producción tan pronto como sean seleccionadas. Sin embargo, deben ser cuidadosamente analizadas antes de su puesta en ejecución por controles, tales como la simulación de los datos históricos para ver lo que realmente habría ocurrido, si hubieran estado operando en el pasado. Existen dos tipos de demandas: la dependiente y la independiente. La demanda independiente se refiere a la demanda externa de un producto final de una firma. La demanda dependiente usualmente se refiere a demanda interna (dentro de la firma) de artículos creados por la demanda de bienes más complejos de los cuales forman parte.

La mayoría de las empresas tienen productos de ambas clases. En el sector manufacturero la demanda independiente es común para los productos terminados, repuestos y los suministros operativos y la demanda dependiente es común para aquellas partes y materiales necesarios para producir el producto final. En las ventas mayoristas y minoristas de bienes de consumo, la mayor parte de la demanda es independiente, cada artículo es un producto final en cual ni el mayorista ni el minorista hacen más ensamblajes no procesos de fabricación.

La demanda independiente se basa en estadísticas. En los modelos de cantidad de pedidos fijos y de períodos de tiempo fijos, la influencia del nivel de servicio se muestra en las determinaciones de la reserva de seguridad y del punto del nuevo pedido. La figura 1.5.3, muestra la comparación de los modelos de sistema de inventario de "cantidad fija" y sistema de inventario de "período fijo".

La reducción del inventario requiere un conocimiento del sistema operativo. No se trata simplemente de sacar un modelo de inventario de la estantería y de registrar algunos números. En primer lugar, el inventario puede ser el apropiado. En segundo lugar, las cifras pueden presentar errores o incluso basarse en datos falsos.

Es de vital importancia comprender que esto no es un compromiso de transacción. Así mismo, la determinación de las cantidades de pedidos se refiere con frecuencia a un problema de transacción; esto es transar los costos de mantenimiento por los de preparación. Cabe anotar que las compañías tienen un interés real en reducirlos. Sin embargo, es necesario tener cuidado, ya que las fórmulas de inventario tratan de minimizar el costo. Usualmente, una correcta reducción del inventario disminuye el costo, mejora la calidad y el desempeño y aumenta las utilidades.

**SISTEMA DE CANTIDAD FIJA**

**SISTEMA DE PERÍODO FIJO**

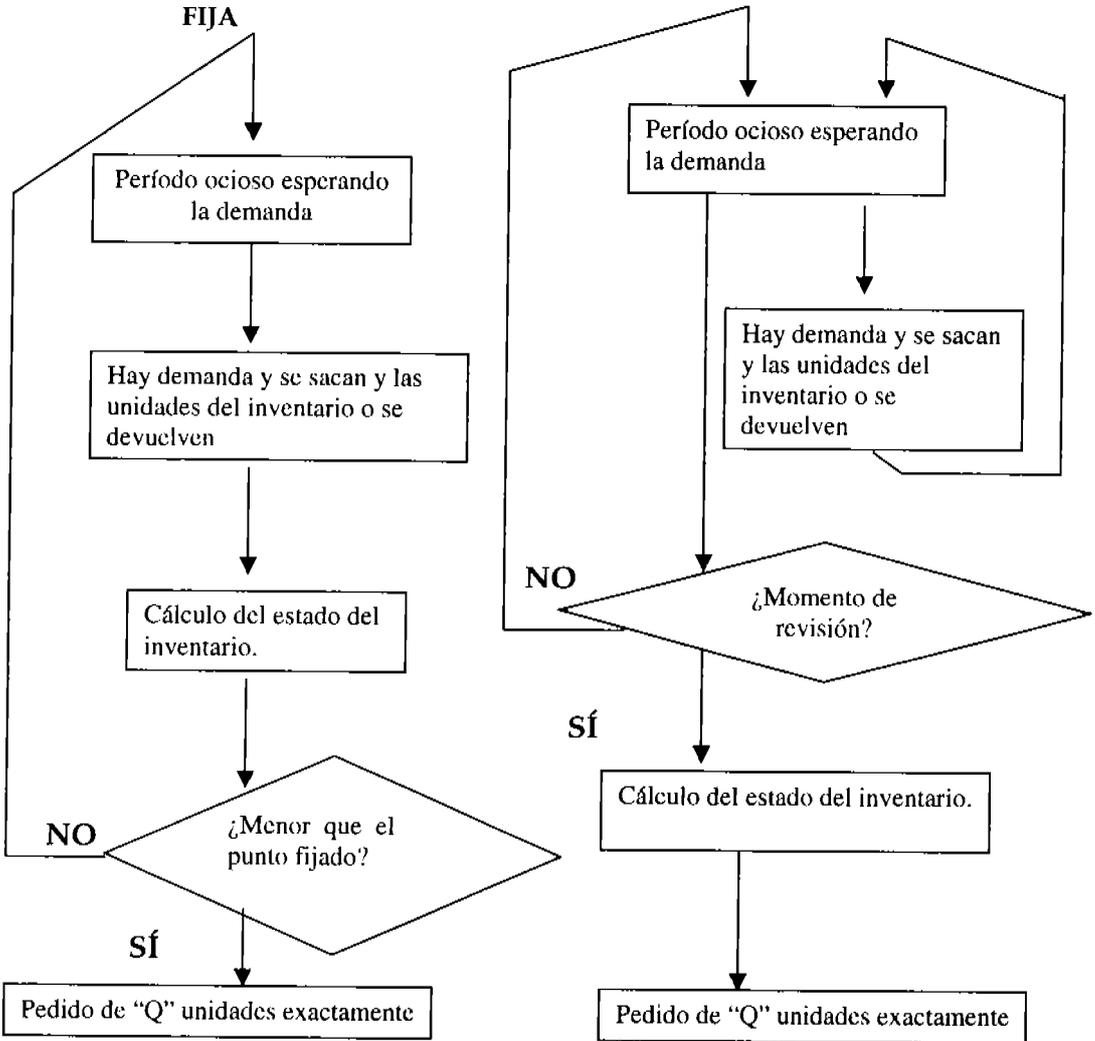


Figura 1.5.3. COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE INVENTARIO DE CANTIDAD FIJA DE PEDIDO Y DE PERÍODO

## SISTEMAS DE TIPO MRP PARA INVENTARIO CON DEMANDA DEPENDIENTE

Los sistemas de planeación de requerimientos de materiales (MRP) se han instalado casi universalmente en las empresas del sector manufacturero, incluso en aquellas que se consideran pequeñas. La razón es que la MRP consiste en un enfoque lógico y de fácil comprensión del problema de determinar el número de partes, componentes y materiales necesarios para producir cada artículo. La MRP también provee el programa de tiempo que especifica cuándo deben ordenarse o producirse cada uno de los materiales, partes y componentes. La MRP original sólo planeaba los materiales. Sin embargo, en la medida en que el poder de las computadoras creció y las aplicaciones se expandieron, también lo hizo la envergadura de la MRP. Pronto consideró los recursos, al igual que los materiales, y se denominó MRP II, que significa planeación de los recursos de manufactura.

Actualmente, la MRP tiene un impacto sobre la totalidad del sistema e incluye el justo a tiempo, el Kanban y las manufacturas integradas por computadora (CIM). La MRP está basada en demanda dependiente.

La demanda dependiente es la causada por la demanda de un artículo de más alto nivel. Por ejemplo, las llantas, los rines y los motores son artículos de demanda dependiente subordinados a la demanda de automóviles. El hecho de determinar el número de artículos de demanda dependiente necesarios es esencialmente un proceso de multiplicación directa. Si una parte A necesita 5 partes de B para producirse, entonces, 5 partes de A requieren 25 partes de B. Muchas firmas de fabricación repetitiva están instalando sistemas JIT para vincularlos con el sistema MRP. El JIT toma el programa de producción maestro como su fuerza de arrastre. Los resultados indican que el combinar la MRP y el sistema de inventario JIT funciona muy bien.

En la figura 1.5.4. Se tiene la estructura del sistema de planeación general de materiales, con el se tiene una amplia visión de la información para un programa estándar de planeación, de requerimientos, de materiales y los informes generados por el programa.

El intento inicial para la MRP II fue planear y monitorear todos los recursos de una firma manufacturera a través de un sistema de ciclo cerrado que generaba cifras financieras. A las nuevas generaciones de MRP se les han dado diferentes nombres. El grupo Gartner llamó a la nueva MRP Planeación de los recursos de la empresa (ERP). Para operar totalmente con un sentido de empresa es necesario distribuir las aplicaciones para la planeación, la programación, los costos, etc, sobre los múltiples estratos de la organización: los centros de trabajo, los lugares, las divisiones, la corporación. También se incluyen múltiples lenguajes y monedas para las aplicaciones mundiales. Los sistemas MRP II incluyen:

- Arquitectura servidor/cliente
- Base de datos relativa con preguntas SQL y generación de informes
- Interfaz para usuarios con gráficas de ventanas
- Soporte de base de datos distribuido
- Sistemas iniciales para soporte de decisión
- Interoperabilidad con múltiples plataformas (Windows NT y Unix)
- Interfaces de programación de aplicaciones estándar

En las fábricas, la programación recurre ahora con fuerza a la simulación para calcular el flujo de trabajo a través del sistema, con el fin de determinar los cuellos de botella y ajustar las prioridades de las tareas. Para hacer esto existen diferentes paquetes de software. Es importante evitar la sub-optimización: un programa que funcione bien para una parte de la organización, pero que cree problemas para otras partes o lo más importante, para el cliente.

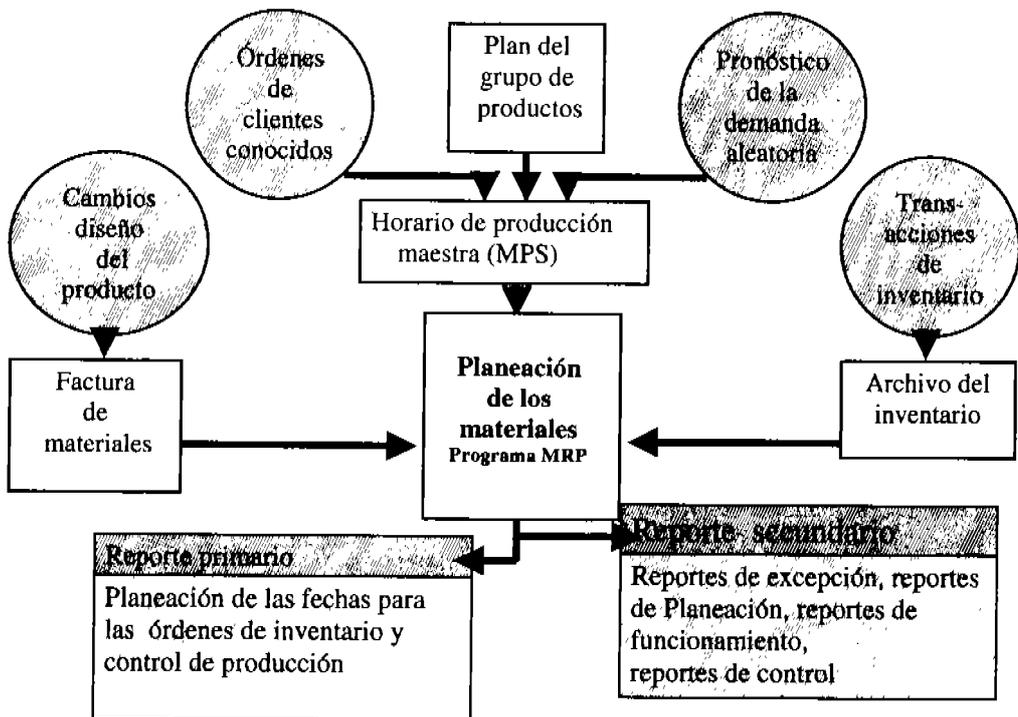


Figura 1.5.4. ESTRUCTURA DEL SISTEMA MRP

## CAPÍTULO 2. PROCESOS DE MANUFACTURA

Las empresas actualmente están en la búsqueda de mejores opciones de desarrollo que les proporcionen mayor participación y competitividad en el mercado. La utilización de herramientas generadoras de ventajas competitivas para cada organización y el permanente contacto con diferentes elementos que promuevan la gestión de la organización como una de las mejores en relación con otras empresas, es lo que hace que en el entorno competitivo, el ingenio de muchos administradores y gerentes sea el principal motor del cambio en las estructuras organizacionales y el gestor de mecanismos innovadores que establezcan estas características. Por lo cual en este capítulo se hace el análisis de la cadena productiva, el Benchmarking, y los procesos de producción que permiten a las empresas manufactureras adoptar nuevas formas que las dirijan hacia una productividad y calidad mayor para lograr ser competitivas. Esto se debe a que con el paso de los años, cada organización intenta sobresalir en el contexto en el que se desarrolla y pueda servir de ejemplo para otras empresas mediante la adopción de estrategias ya probadas y entendidas en el mercado. Éste es el principio del benchmarking.

El hecho de permitir la cooperación entre empresas con el fin de optimizar las labores realizadas por el sector productivo y la consecución de mejoras en los procedimientos de las mismas organizaciones, hace que la gestión actual se encamine hacia el logro de objetivos individuales, por medio de herramientas utilizadas colectivamente y que generarán a su vez mejores desempeños en el entorno competitivo de actuación. El benchmarking no es un proceso que se realiza una vez y se olvida, sino que es continuo y constante. Se basa en la medición, ya que se tienen que evaluar los procesos propios y los de otras empresas para compararlos con los de aquellas empresas y unidades de negocios que son reconocidas como las mejores o como los líderes de la industria. En este capítulo también se hace mención de las decisiones al seleccionar o diseñar el producto que se va a producir, al igual que definir la tecnología del proceso y la organización de apoyo, mediante la cual se va a realizar la producción. La tercera decisión es desarrollar una filosofía de calidad e integrarla dentro de las operaciones de la firma. Al final de este capítulo se hace un análisis de los procesos que se manejan en algunas empresas y una propuesta general de procesos en manufactura.

## 2.1. CADENA PRODUCTIVA

Existe un análisis de competitividad sobre la cadena productiva, en el que se busca a la integración como elemento definidor de la acción central dentro de la industria. El concepto de cadena productiva tiene muchas acepciones, que transmiten diferentes interpretaciones según el destino que tenga su aplicación.

Desde 1991, aproximadamente, se ha utilizado el concepto de cadena, como factor de interacción empresarial mediante la promulgación de acuerdos entre el gobierno, las empresas y la comunidad, para generar la competitividad y estimular el desarrollo de ventajas competitivas sustentadas en la innovación industrial.

Entre los términos que se han relacionado con la cadena productiva se encuentran: integración, sector, cadena agroindustrial, cadena de valor, eslabonamientos, enlaces laterales, sistema, industria y complejo. La aplicación de estos conceptos se presenta cuando se analiza la influencia de la competitividad en cada empresa y en cada elemento con el que se interactúe. Se efectúan estudios sobre el desempeño futuro de las organizaciones y se crean diferentes escenarios mediante pronósticos, lo cual permite visualizar comportamientos posteriores con el fin de definir acciones para que la empresa surja en el presente.

El Benchmarking se entiende como el proceso de evaluación continua y sistémica, mediante el cual se analizan y comparan permanentemente los procesos y productos de las compañías que son reconocidas como exitosas, con el fin de aprender de ellos y adaptarlos a la organización para mejorar su desempeño. Según esto, el nivel de desempeño de un proceso, calificado como "el mejor de su clase", es el que delimita la acción de este mecanismo dentro del proceso de gestión de la empresa.

El Benchmarking, además de evaluar continuamente, es un proceso de comparación con otras organizaciones líderes para lograr información sobre filosofías, estrategias y procesos. Esto permite que cada organización tome decisiones vitales para su desempeño. El Benchmarking posee tres objetivos que dependen de su tiempo de ejecución: A corto plazo, el aprendizaje entre empresas es lo que se espera para comenzar a aplicar el concepto; a mediano plazo, el mejoramiento continuo y a largo plazo la supervivencia y la productividad. En el cumplimiento de estos objetivos se aplica siempre la cooperación y la competitividad.

En este modelo se establecen cuatro pasos centrales: Planear, hacer, verificar y actuar. En el momento de iniciar este modelo a nivel estratégico, el primer paso es la identificación de los clientes potenciales. Se determinan los factores críticos de éxito del cliente y se evalúa su desempeño; luego se identifican los procesos básicos que permitirá su priorización para someter a un Benchmarking a la empresa; se determina si el Benchmarking es adecuado y, por último, se comunican los hallazgos a los ejecutivos de mayor rango.

Luego de iniciar el modelo, se estratifican los procesos. En el primer paso de la estratificación, se define el sistema de costos a usar. Posteriormente se establecen los factores críticos en forma de procesos, se discriminan los subprocesos como las actividades y tareas pertenecientes a un proceso macro. Con esto se determina la actividad a seguir y se asignan tareas para cada caso

## **2.2. DISEÑO DE SISTEMAS DE MANUFACTURA**

La definición de sistema de manufactura depende del tipo de procesos que maneje. Existen dos tipos básicos de procesos los de fabricación y los de ensamblado. En este trabajo únicamente se abarca lo relacionado a las industrias de ensamblado. Para las industrias de manufactura con procesos de fabricación, la definición de sistema de manufactura es el uso de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material inicial para hacer piezas o productos y sus operaciones son de procesamiento.

Para las industrias de manufactura con procesos de ensamblado, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, por medio de una o más operaciones de ensamblaje, combinando piezas para formar una nueva entidad.

**Ejemplos de procesos de fabricación.** Consisten en dar a las materias primas alguna forma específica (por ejemplo, transformar una lámina de metal en un joyero o un trozo de oro en una corona dental)

**Ejemplos de procesos de ensamble.** Ejemplos de éstos son ensamblar un disco duro a una computadora, fijar una corona en el diente de un individuo o colocar una pasta de dientes en una caja.

### **PRODUCTOS MANUFACTURADOS**

Los productos manufacturados se dividen en dos grupos:

- Bienes para el consumidor: Los que son adquiridos directamente por los consumidores; ejemplos: autos, computadoras, guitarras
- Bienes capitales: Los que son adquiridos por otras compañías para proveer servicios o elaborar productos; ejemplos: aviones, computadoras, equipo de construcción

### **CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y VARIEDAD DEL PRODUCTO**

La cantidad de producción anual se clasifica en tres grupos: refiere al número de unidades producidas anualmente.

- baja: 1-100 unidades anuales
- mediana: 100-10,000 unidades anuales
- alta: más de 10,000 unidades anuales

Esta influye en las decisiones sobre la selección del equipo y proceso para elaborar un producto. La variedad del producto se refiere a los diferentes tipos o diseños del mismo.

## **MATERIALES Y MANO DE OBRA UTILIZADOS EN MANUFACTURA**

### **MANO DE OBRA**

En los sistemas de producción es necesaria la mano de obra, como un elemento fundamental de la producción, igualmente es el esfuerzo humano realizado para asegurar un beneficio económico en la organización. En la industria, la mano de obra tiene una gran variedad de funciones, que se pueden clasificar de la siguiente manera: producción de materias primas, como en la minería y en la agricultura; producción en el sentido amplio del término o transformación de materias primas en objetos útiles para satisfacer las necesidades humanas; distribución o transporte de los objetos útiles de un lugar a otro, en función de las necesidades humanas; las operaciones relacionadas con la gestión de la producción.

### **MATERIALES**

En el sistema de producción utiliza materiales para desarrollar su función esencial, la de transformación de insumos para obtener bienes o servicios; cada operación del proceso requiere materiales y suministros a tiempo, en un punto en particular, y el eficaz manejo de materiales. Se asegura que los materiales serán entregados en el momento y lugar adecuados, así como, la cantidad correcta. El manejo de materiales debe considerar un espacio para el almacenamiento. El manejo de materiales puede llegar a ser el problema de la producción, ya que agrega poco valor al producto y consume una parte del presupuesto de manufactura.

Las oportunidades potenciales que entrañan el desarrollo de nuevos productos son emocionantes, pero su materialización constituye un reto. El desarrollo de un nuevo producto implica una compleja serie de actividades. Una vez aprobado, el proyecto para la fabricación de un nuevo producto pasa a la etapa de ingeniería detallada. En donde las principales actividades en esta fase son el diseño y construcción de los prototipos funcionales, y el desarrollo de las herramientas y el equipo que se utilizarán en la producción comercial. Se requiere obtener una producción piloto para llevar a cabo el ciclo de Diseñar-Constuir-Probar. Al probar esa producción piloto se tiene que llegar a la señal de aprobación. De otra manera se requiere rediseñar, construir y probar hasta que cumpla con las características deseadas.

Para el diseño de un sistema de manufactura se requiere del análisis del sistema de producción adecuado, de la fijación de objetivos, de la planeación, de la integración de recursos, de participación de la organización, de la implementación y control del sistema.

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN:** Los integran la gente, el equipo y los procedimientos diseñados para el manejo de los materiales y procesos que constituyen las operaciones de la firma. Las instalaciones de apoyo a la manufactura se pueden organizar de acuerdo con la cantidad de producción en arreglo fijo, arreglo de proceso, arreglo celular o de celdas arreglo de producto.

Para operar eficientemente cualquier compañía debe organizarse a sí misma para diseñar el proceso, seleccionar equipo, desarrollar el plan y controlar la producción. Esto se logra con la participación de ingenieros de manufactura.

**FIJACION DE OBJETIVOS:** En todo sistema de manufactura se requiere identificar los objetivos organizacionales que son una función del administrador; estos objetivos hacen hincapié en las condiciones futuras deseadas que la organización trata de alcanzar.

**PLANEACION:** La planeación en un sistema de manufactura es la labor administrativa en la que se pasa de planear los medios de alcanzar metas, a decidir de antemano cómo hacer y cuándo realizar las actividades; esto implica estrategias globales y políticas generales.

**INTEGRACION DE RECURSOS:** Los recursos en un sistema de manufactura son necesarios para realizar los planes y es responsabilidad de la administración la integración de los recursos requeridos y vigilar que se utilicen eficazmente.

**ORGANIZACION:** La organización en el sistema de manufactura es la responsable de reunir a la gente y los recursos adecuados no aseguran la efectividad y eficiencia organizacional. La labor administrativa incluye también el desarrollo y mantenimiento de la estructura para la realización de los planes establecidos.

**IMPLEMENTACION:** Los objetivos, planes, recursos son parte de la preparación. Al desarrollar la capacidad de actuar los administradores con frecuencia dirigen las actividades de los planes y procedimientos de aplicación.

**CONTROL:** Medir y evaluar los resultados son necesarios a fin de sopesar el desempeño organizacional y determinar que también se ha realizado la labor administrativa. El núcleo de la labor administrativa incluye la toma de decisiones que mantiene un equilibrio dinámico al tiempo que se alcanzan los objetivos que marcan el éxito. Los administradores fijan metas, planean programas, integran

recursos, organizan a la gente y sus procesos. También necesitan ajustar su atención y conducta para que se adecuen a diferentes niveles en la jerarquía organizacional. Conforme avanza un administrador las habilidades técnicas se tornan relativamente menos importantes, mientras que las habilidades humanas y conceptuales se vuelven parte fundamental de su labor.

La forma tradicional de operar se observa en la figura 2.1, donde se analiza un sistema tradicional general de manufactura el cual puede dividirse en cinco partes. En la parte primera se encuentra el sistema de mercado del cliente en el cual se analizan las necesidades y las peticiones de los clientes; la segunda parte, la cual se conforma de los bloques del sistema de control de comercialización y ventas, maneja lo relacionado con promociones, especificación de pedidos, pedidos de producción, y genera ideas para el bloque de investigación avanzada; en la tercera parte, se encuentra lo relacionado con el desarrollo del producto con los bloques de investigación avanzada y diseño del producto, atiende las ideas del sistema de comercialización, al igual que los pedidos de producción y especificaciones de los pedidos; la cuarta parte, tiene que ver con la fabricación en la que se ubican los bloques de proceso de planificación y proceso de producción en donde se hace la entrega de los productos; la última parte, regresa de nuevo al sistema de mercado del cliente, introduciendo los productos terminados.

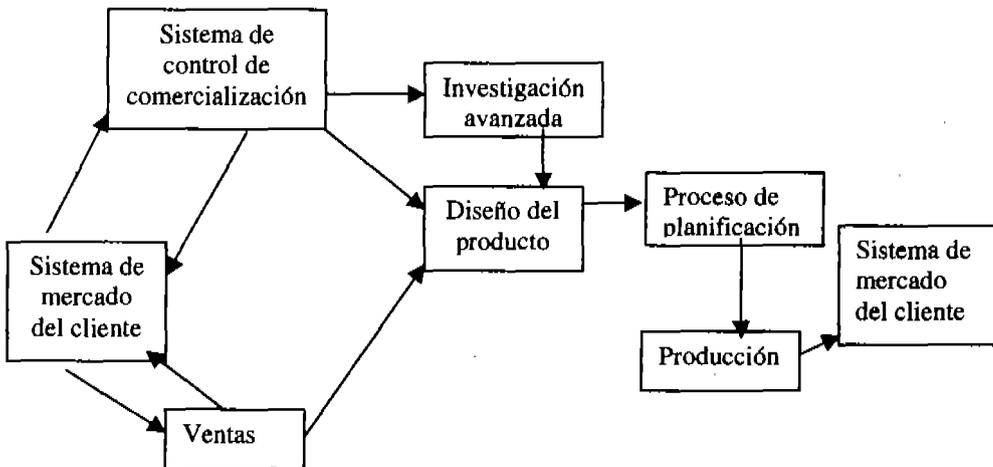


Figura 2.1. FLUJO DE ACTIVIDADES EN EL DISEÑO DEL PRODUCTO Y SELECCIÓN DEL PROCESO

### 2.3 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROCESO

La planeación detallada de un proceso exige determinar los pasos del proceso en sí. El proceso se describe como una serie de tareas que transforman insumos en resultados útiles. Un proceso suele constar de una serie de tareas, un flujo de materiales e información que conecta la serie de tareas y almacenamiento de materiales e información. Para su representación se utiliza un diagrama de flujo. En la figura 2.2, se muestran los símbolos utilizados en cualquier diagrama de flujo.

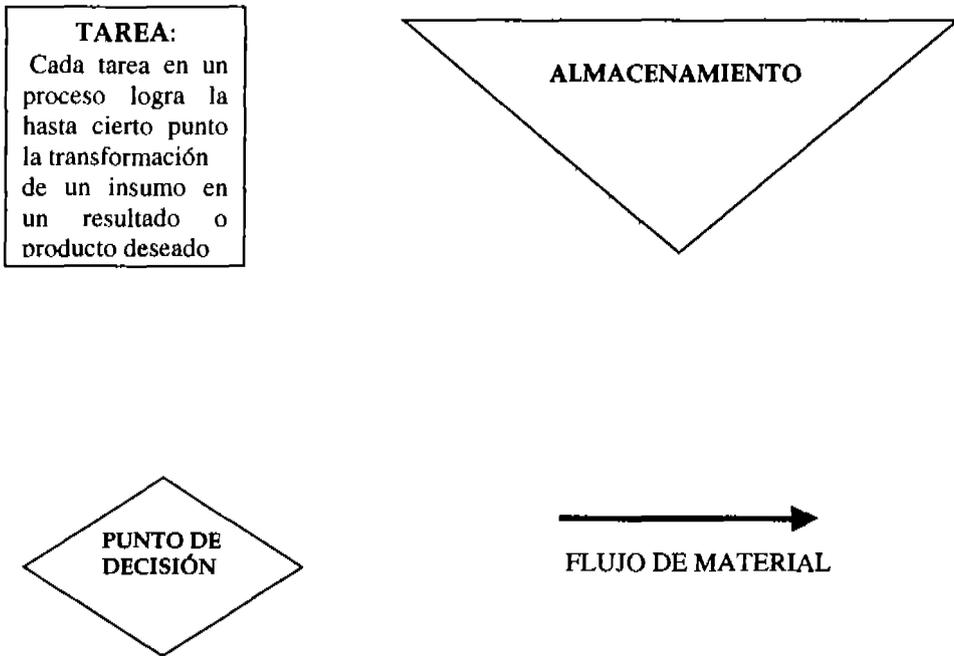
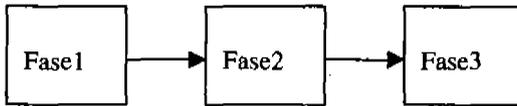


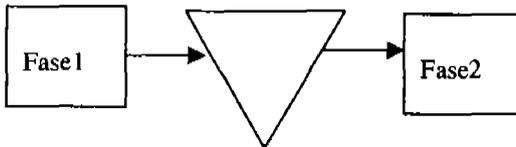
FIGURA 2.2. SÍMBOLOS EN EL DIAGRAMA DE FLUJO

## TIPOS DE PROCESOS

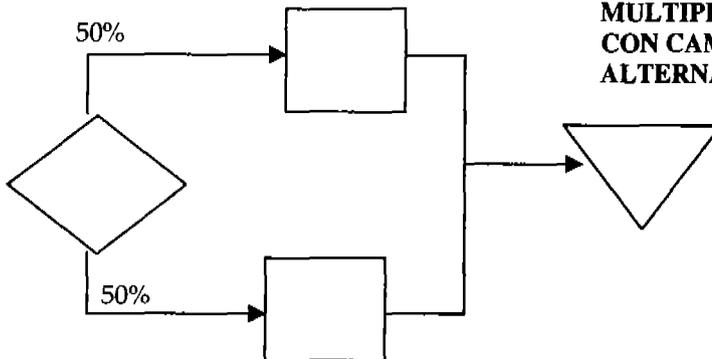
En las siguientes figuras se muestran los diferentes tipos de procesos.



**MULTIPROCESOS:**  
Cuando se cuenta con más de una fase

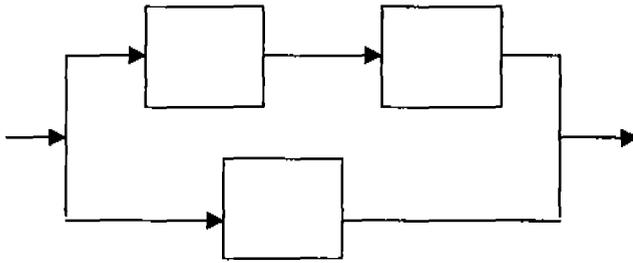


**MULTIPROCESOS CON ALMACENAMIENTO**

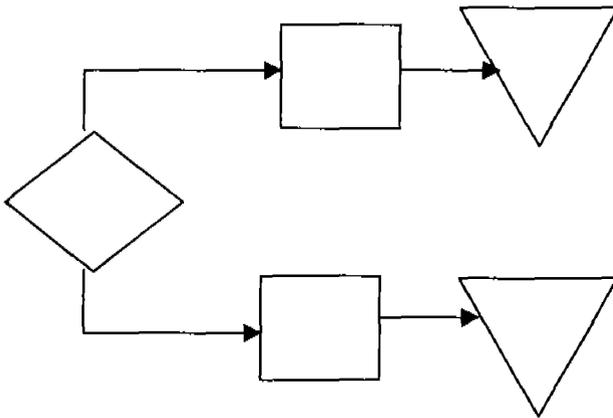


**MULTIPROCESOS CON CAMINOS ALTERNATIVOS**

**MULTIPROCESOS  
CON ACTIVIDADES  
SIMULTÁNEAS**



**PRODUCCIÓN DE  
DIFERENTES  
PRODUCTOS**

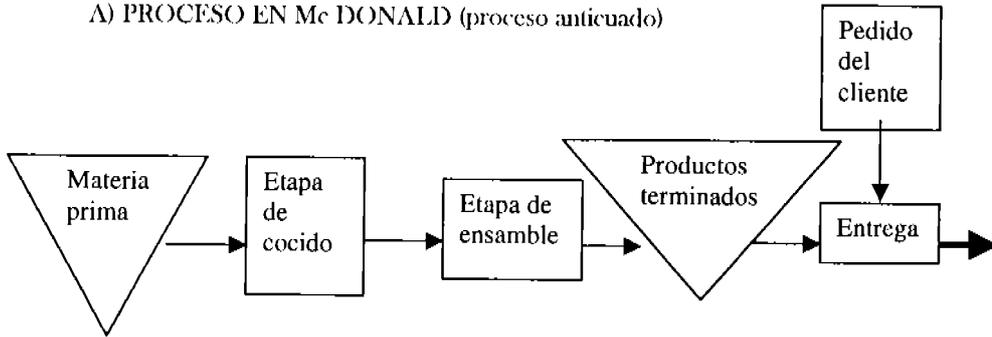


Al hacer el análisis de los diferentes tipos de procesos se observa que si el tiempo de terminación de una fase se prolonga demasiado, en la siguiente fase puede ser que se detenga la producción ocasionando un cuello de botella.

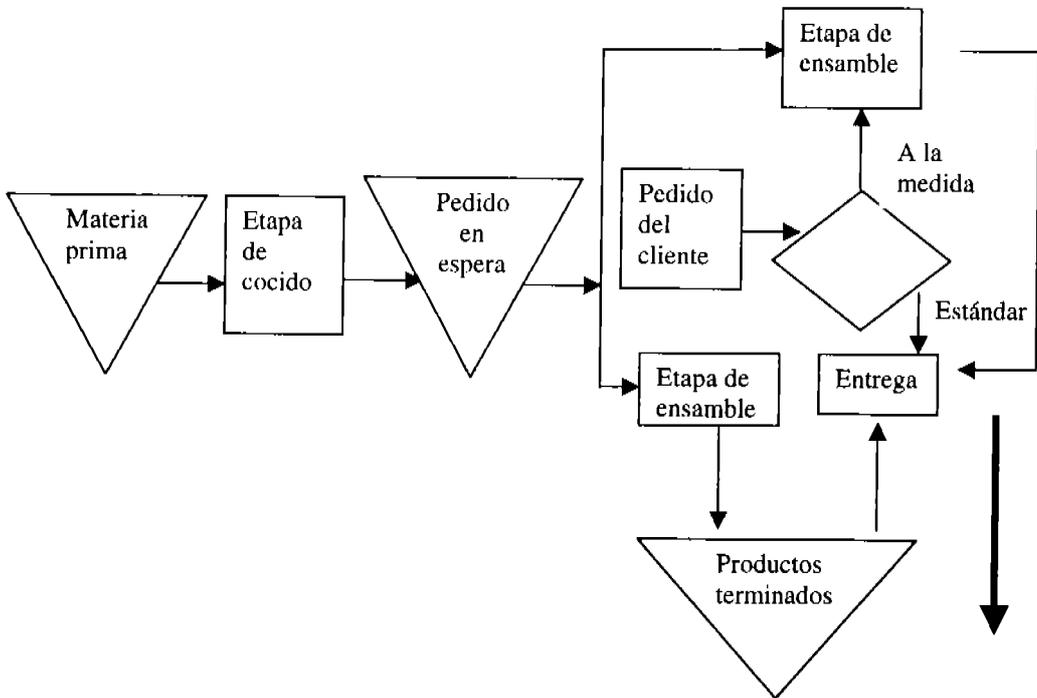
EL CUELLO DE BOTELLA se define como cualquier recurso, cuya capacidad es inferior a la demanda colocada sobre éste. Un cuello de botella es una restricción dentro del sistema que limita la demanda atendida. Muchas veces es la razón por la que se tienen actividades idénticas en paralelo, por ejemplo, para duplicar lo que se hace en una fase que requiere mucho más tiempo de aquellas que se encuentran antes y después.

**EJEMPLOS DE PROCESOS.** Una forma de selección de proceso, es el análisis de procesos que manejan las distintas industrias, por lo que a continuación se dan ejemplos:

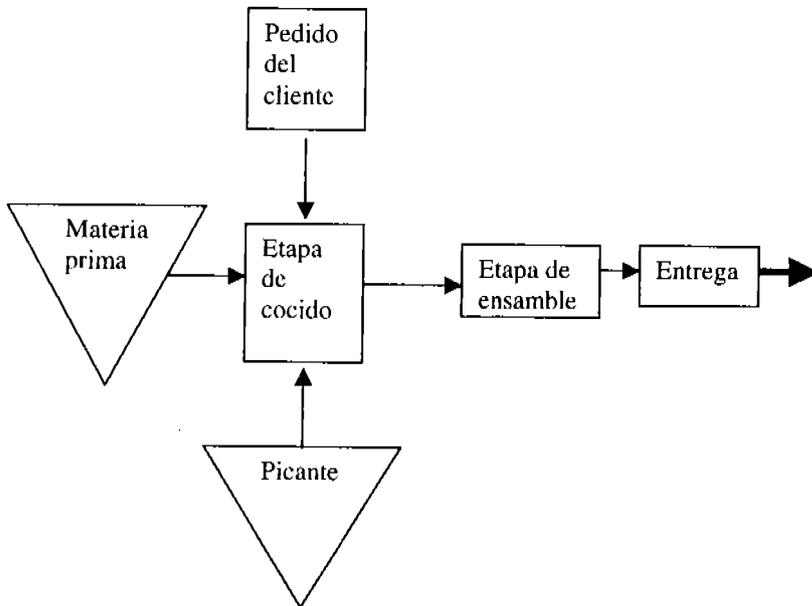
A) PROCESO EN Mc DONALD (proceso anticuado)



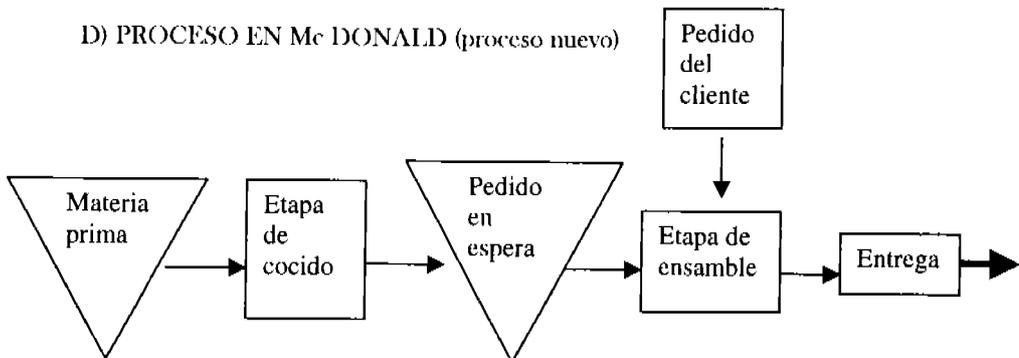
B) PROCESO EN BURGER KING



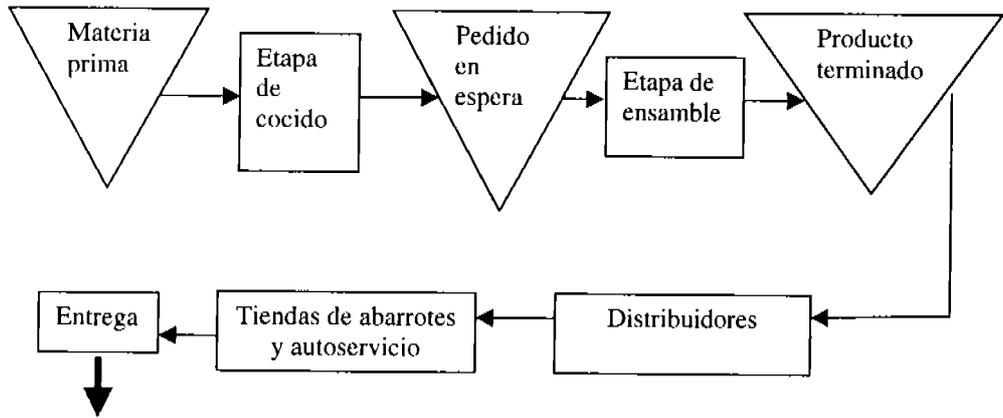
### C) PROCESO EN WENDY



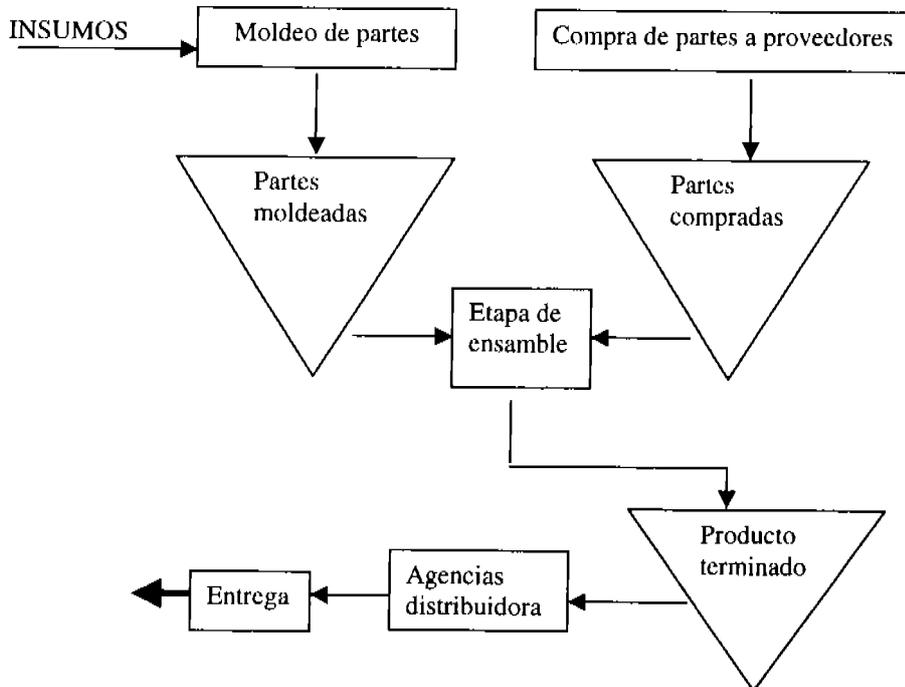
### D) PROCESO EN Mc DONALD (proceso nuevo)



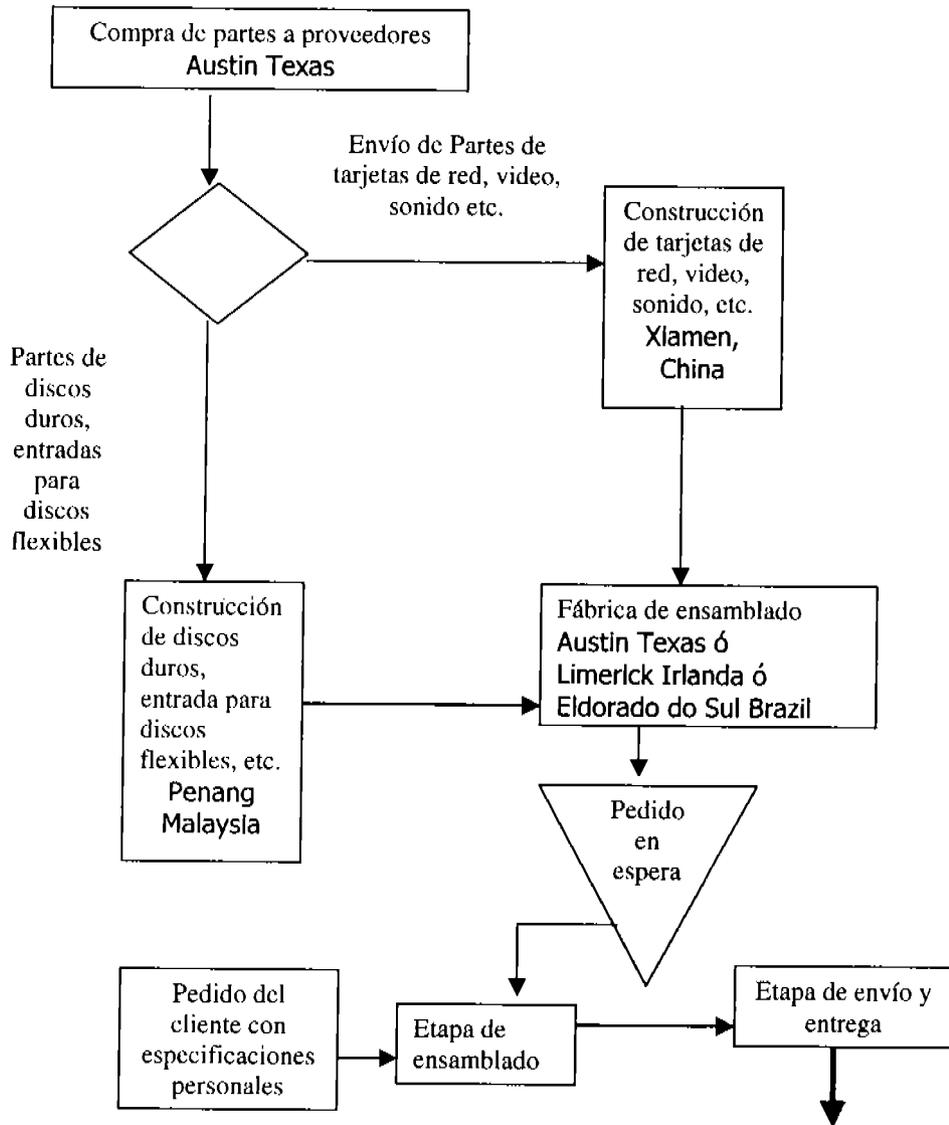
### E) PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAN



### E) PROCESO DE FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES



#### D) PROCESO EN DELL



## 2.4 PROCESO GENERAL DE MANUFACTURA PROPUESTO

Haciendo una comparación con los procesos anteriores, se hizo una propuesta para un sistema general de manufactura, cuyos procesos son de ensamble de piezas, esta propuesta se observa en la figura 2.3, en ella se inicia con la compra de materiales y componentes y construcción de pequeños elementos, sin embargo las piezas más grandes no son ensambladas hasta que llegue el pedido de algún cliente, esto se hace con el fin de reducir espacio en el almacén

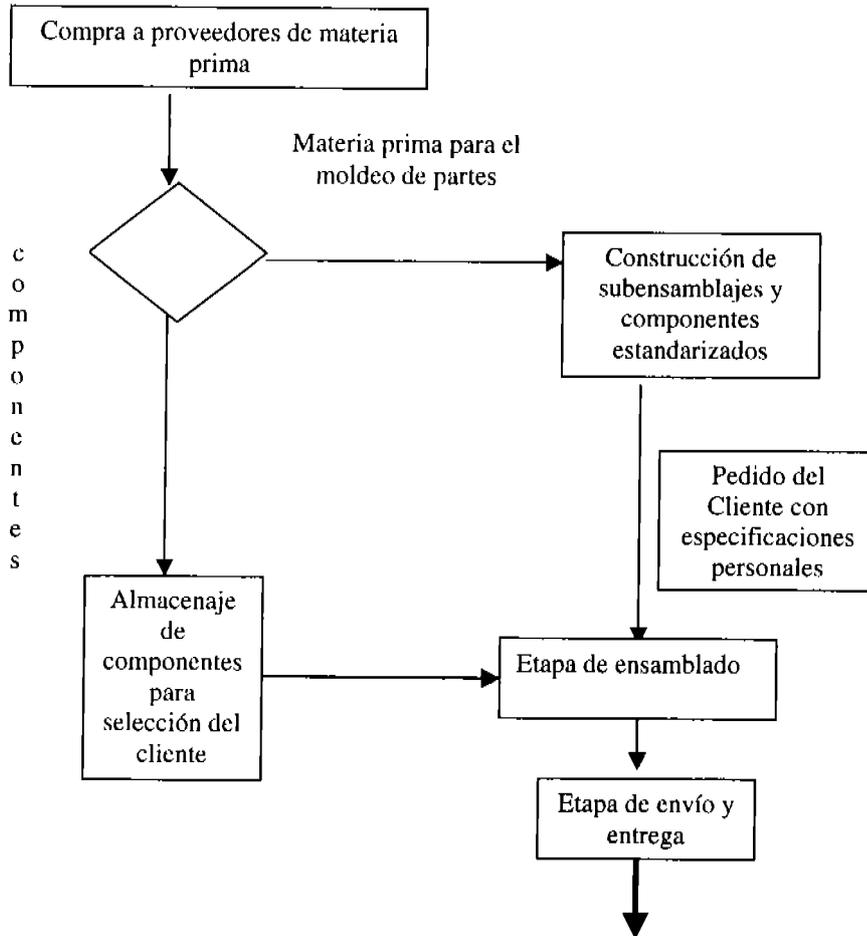


Figura 2.3. PROCESO GENERAL DE MANUFACTURA PROPUESTO

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT**

En este capítulo se hace una clasificación de los robots, de acuerdo a su funcionamiento y se explica cada una de ellas, se maneja la forma tradicional de diseñar y construir un robot móvil, analizando su diagrama de bloques, y explicando cada uno de ellos, también se explica la forma de controlar un robot móvil haciendo el análisis de la toma de decisiones mediante el uso de circuitos de lógica programable como son (memoria EPROM y CPLD`s). También se explica la programación del control del robot móvil mediante el lenguaje de descripción de hardware veriloghdl y finalmente se hace el análisis de la simulación de las señales del control, mediante la plataforma MAX+PLUS II,

#### **3.1 CLASIFICACIÓN DE ROBOTS**

Un robot es un dispositivo de manipulación reprogramable y multifuncional. Es la unión de un software y un hardware para realizar una variedad de tareas.

Por su forma de operar los robots pueden clasificarse en:

- Robots Manipuladores
- Robots de repetición y aprendizaje
- Robots con control por computadora
- Robots inteligentes
- Micro robots

A continuación se explica brevemente el significado de cada una de las clasificaciones anteriores acompañadas de imágenes para su mejor comprensión.

##### **ROBOTS MANIPULADORES**

Son sistemas mecánicos multifuncionales, con un sencillo sistema de control, que permite gobernar el movimiento de sus elementos, la imagen de la figura 3.1.1, muestra una mano manipuladora la cual puede agarrar distintos objetos y cambiarlos de un lugar a otro.

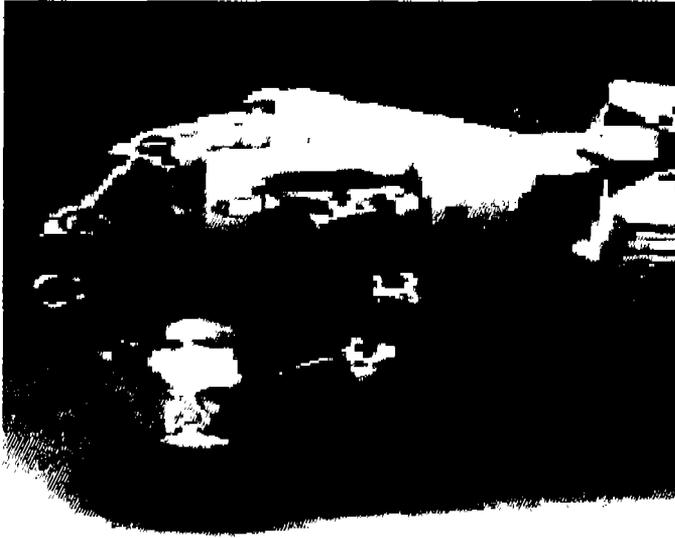


Figura 3.1.1. ROBOT MANIPULADOR

Los robots manipuladores se clasifican en tres distintos tipos: Manipuladores de tipo manual, Manipuladores de tipo secuencia fija y manipuladores de tipo secuencia variable.

- **ROBOT MANIPULADOR DE TIPO MANUAL:** Este tipo de robot lo utiliza el operario cuando controla directamente la tarea del robot manipulador
- **ROBOT MANIPULADOR DE SECUENCIA FIJA:** Este tipo de robot es utilizado cuando se requiere repetir, de forma invariable, el proceso de trabajo preparado previamente.
- **ROBOT MANIPULADOR DE SECUENCIA VARIABLE:** En este robot se pueden alterar algunas características de los ciclos de trabajo.

Existen diversas operaciones básicas que pueden ser realizadas óptimamente mediante manipuladores, por lo que se debe considerar seriamente el empleo de estos dispositivos, cuando las funciones de trabajo sean sencillas y repetitivas.

## ROBOTS DE REPETICIÓN O APRENDIZAJE

Este tipo de robot se limita a repetir una secuencia de movimientos, previamente ejecutada por un operador humano, haciendo uso de un controlador manual o un dispositivo auxiliar. En este tipo de robots, el operario en la fase de enseñanza, utiliza una pistola de programación con diversos pulsadores o teclas, o bien, de joysticks, o bien utiliza un maniquí, u ocasionalmente, desplaza directamente la mano del robot. Los robots de aprendizaje son los mas conocidos, hoy día, en los ambientes industriales y el tipo de programación que incorporan, recibe el nombre de "gestual", la imagen de la figura 3.1.2, muestra una mano controlada de forma manual por un operario en la fase de enseñanza. Posteriormente esa mano robótica hará los mismos movimientos que aprendió.



Figura 3.1.2. ROBOT DE REPETICIÓN O APRENDIZAJE

## ROBOTS CONTROLADOS POR COMPUTADORA

Son sistemas mecánicos multifuncionales, controlados por una computadora, que habitualmente suele tener un microcontrolador. En este tipo de robots, el programador no necesita mover realmente el elemento de la máquina, cuando la prepara para realizar un trabajo. El control por computadora dispone de un lenguaje específico, compuesto por varias instrucciones adaptadas al robot, con las que se confecciona un programa de aplicación utilizando sólo la computadora, no el brazo. A esta programación se le denomina textual y se crea sin la intervención del robot. Las grandes ventajas que ofrecen este tipo de robots, hacen que se vayan imponiendo en el mercado rápidamente, lo cual exige la preparación urgente de personal calificado, capaz de desarrollar programas de este tipo, la imagen de la figura 3.1.3, muestra dos robots, cada uno controlado por una computadora .



Figura 3.1.3. ROBOT CONTROLADO POR COMPUTADORA

## ROBOTS INTELIGENTES

Son similares a los del grupo anterior, pero, además, son capaces de relacionarse con el mundo que les rodea a través de sensores y tomar decisiones en tiempo real (auto programable). De momento, son muy poco conocidos en el mercado y se encuentran en fase experimental, en la que se esfuerzan los grupos investigadores se esfuerzan por mostrarlos más efectivos y al mismo tiempo menos costosos para aumentar el número de compradores.

La visión artificial, el sonido de maquina y la inteligencia artificial, son las ciencias que más se estudian para su aplicación en los robots inteligentes. En la figura 3.1.4, se ve un robot explorador que en un futuro cercano poseerá inteligencia artificial suficiente que le permitirá explorar el terreno sin supervisión humana.



Figura 3.1.4 ROBOT EXPLORADOR CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL

## MICRO ROBOTS

El diseño de este tipo de robots es con fines educativos, de entretenimiento o investigación, existen numerosos robots de formación o micro robots a un precio muy accesible y cuya estructura y funcionamiento son similares a los de aplicación industrial. La figura 3.1.5 muestra un micro robot con apariencia de araña, tiene dos interruptores, uno es para el encendido y apagado del motor y el otro es para que el robot se pueda desplazar hacia adelante o hacia atrás.

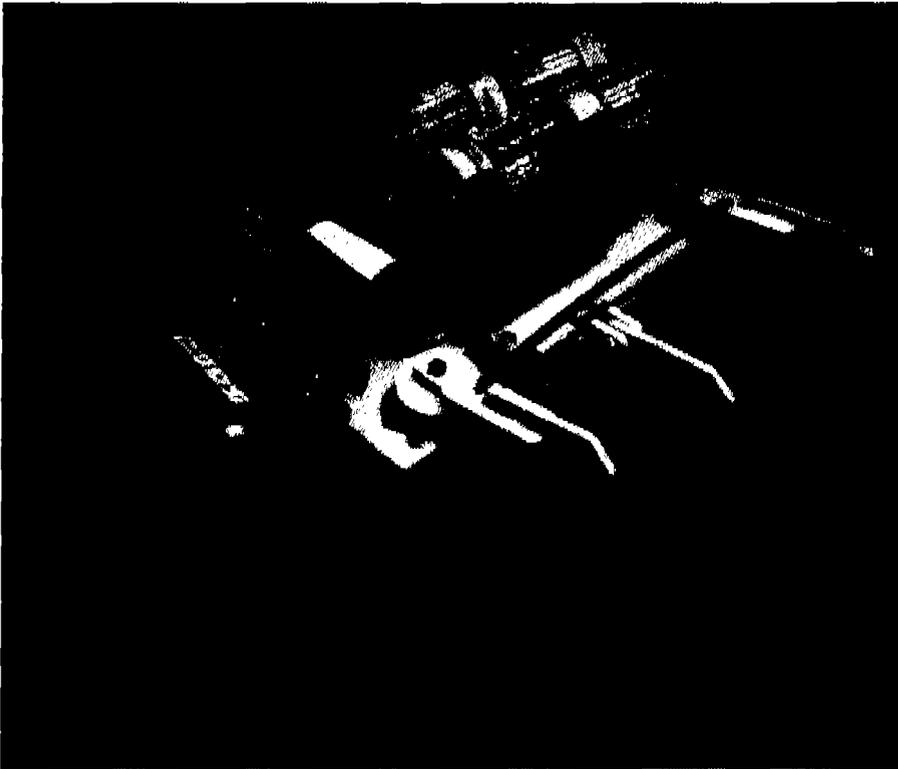


Figura 3.1.5. MICROROBOT

### 3.2 ESTRUCTURA Y BLOQUES DEL ROBOT

El diseño de un robot móvil consta de bloques funcionales, cada uno de ellos controla distintas actividades del robot móvil. El número de bloques funcionales depende de las características que se requiera tenga el robot.

Un robot móvil seguidor de línea requiere del diseño y construcción de seis bloques. La figura 3.2.1 muestra el diagrama de bloques de un robot seguidor de línea. Los seis bloques funcionales son:

- Bloque de sensado.
- Bloque de los motores.
- Bloque de control y toma de decisiones.
- Bloque de potencia.
- Bloque de fuente de alimentación
- Bloque regulador de voltaje.

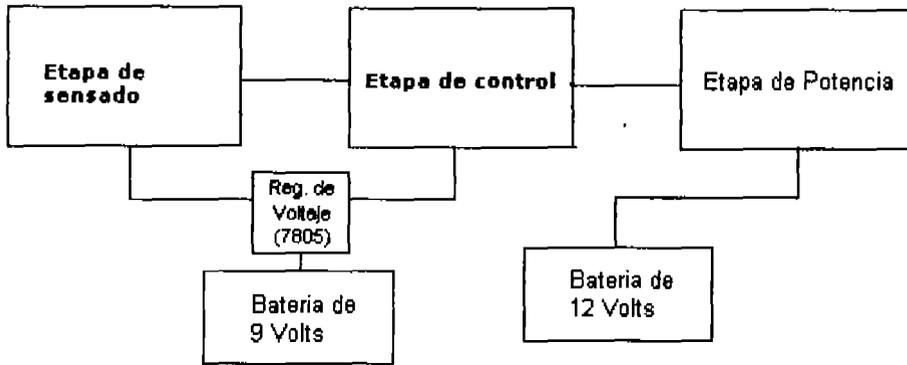


Figura 3.2.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL ROBOT MÓVIL

### BLOQUE DE SENSADO.

En este bloque funcional, los sensores simulan los ojos del robot, el robot cuenta con tres sensores de tipo fototransistor. Este tipo de sensor está compuesto de un led infrarrojo (fotodiodo) y un transistor. La función que se busca con este tipo de sensores es interactuar con el medio ambiente de acuerdo a la intensidad de luz que incide en ellos, el objetivo que se persigue, es que el robot realice acciones programadas de acuerdo con la lectura que se encuentre en estos sensores.

El led infrarrojo (fotodiodo) lanza un rayo sobre la superficie y el transistor detecta el reflejo y envía una señal específica, en función de la magnitud del reflejo de dicho rayo. Así, la señal obtenida sobre una superficie oscura estará bien diferenciada de una obtenida sobre una superficie clara. El control de ambas señales se lleva cabo a través de presets, y la digitalización de las señales se efectúa mediante amplificadores operacionales. En la figura 3.2.2, se ver el circuito equivalente de un fototransistor. Se observa que está compuesto por un fotodiodo y un transistor. La corriente que entrega el fotodiodo, circula hacia la base del transistor y se amplifica  $\beta$  veces, y es la corriente que puede entregar el transistor.

El diagrama de interconexiones totales requeridas para la construcción de esta tarjeta puede observarse en la figura 3.2.3. Es importante recordar que las señales que salen de las tres líneas de la tarjeta de sensado, manejan lógica negada.

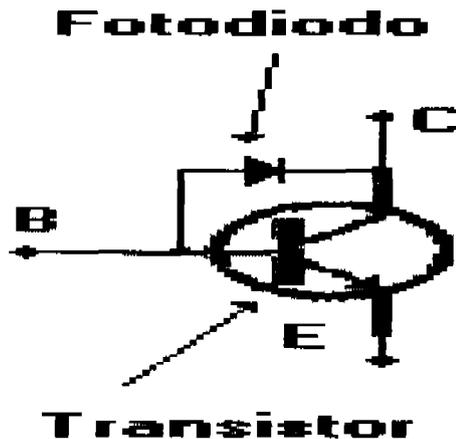


Figura 3.2.2. FOTOTRANSISTOR

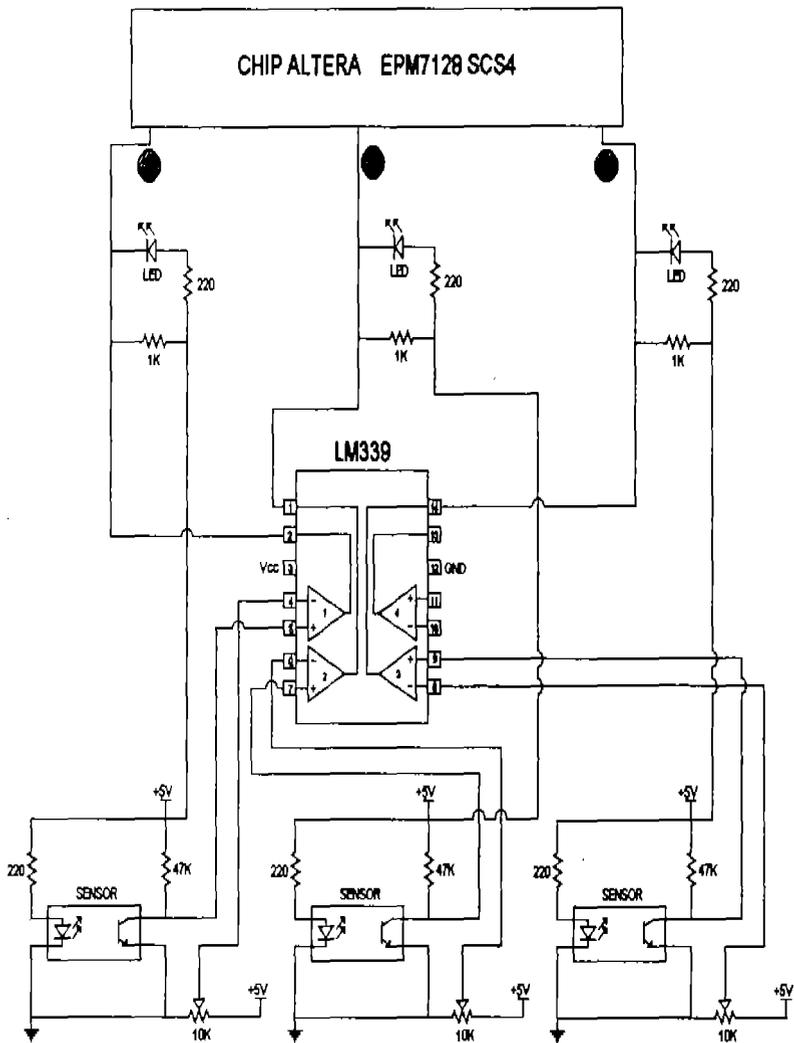


Figura 3.2.3. DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL BLOQUE DE SENSADO.

## BLOQUE DE MOTORES.

La estructura del robot móvil, en la distribución de los motores y llantas, es: Dos motores en la parte trasera, conectando una llanta en cada uno de los motores y una rueda de movimiento libre en la parte delantera. El control de desplazamiento de dirección lo realizan los dos motores; de manera que para hacer avanzar el robot hacia delante o hacia atrás, se hacen girar ambos motores en el mismo sentido, y en el caso del giro a la derecha o izquierda, este hace funcionar los motores en sentido opuesto, donde el motor que gire hacia atrás será el que mandará en el movimiento del robot. Los posibles movimientos, tanto de los motores como del robot, se presentan en los esquemas contenidos en la siguiente figura 3.2.4. Donde las flechas simulan la dirección de los motores y las palabras de entre el motor1 y el motor2 indican el movimiento del robot. Para el control de los motores se usa el bloque de potencia. El bloque de potencia es un bloque auxiliar que se utiliza debido a que el control maneja un voltaje digital muy bajo y no contiene la suficiente potencia como para administrar la energía necesaria a los motores para que éstos se muevan.

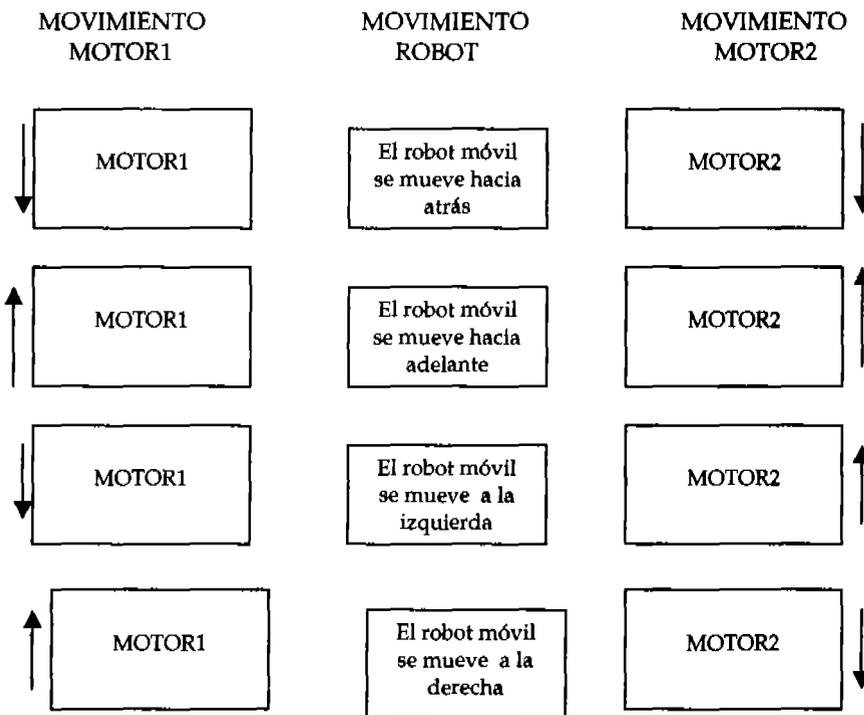


Figura 3.2.4. MOVIMIENTOS DE LOS DOS MOTORES Y DEL ROBOT MÓVIL.

## BLOQUE DE POTENCIA

El bloque de potencia está constituido por un driver (L293D) el cual tiene dos entradas de voltaje, VS y VSS.

**VSS** Es el voltaje de polarización que el driver necesita para funcionar, y por ello debe estar conectado al voltaje de salida del regulador, que es de 5volts.

**VS** Es el voltaje que se envía al motor cuando la señal de habilitación en este chip se encuentre activada. El driver debe mandar un voltaje al motor lo suficientemente grande para hacerlo trabajar, este driver puede manejar valores de voltaje de entre 0.2 hasta 32 volts, como se observa en las hojas de especificaciones de este circuito integrado; en el caso del robot móvil, cuando se requiera habilitar algún motor la señal será de 12 volts. Este driver consta de 6 entradas y cuatro salidas. Y si se le conectan dos motores, se tienen por entradas dos enables cada uno para habilitar el funcionamiento de cada uno de los motores, también tiene otras dos entradas cuya función es indicar el sentido de cada uno de los motores, las otras dos entradas se conectan a la salida de dos inversores. El hecho de emplear inversores se justifica en la base del uso de lógica negada empleada en el diseño y programación de la etapa de sensado. Las salidas de este circuito integrado son dirigidas a la alimentación de los motores, así como a cuatro led's indicadores que muestran la dirección en la que los motores están girando.

Dependiendo del uso que se le quiera dar al robot móvil, es el tipo de motor que se seleccione:

- Los robots móviles mensajeros, requieren motores que tengan la suficiente potencia para cargar papelería por lo que los indicados son servo- motores. Los servomotores giran únicamente 180 grados, por lo que se requiere abrirlos y quitar les los topes mecánicos que tengan.
- Los robots móviles de competencia, requieren ser veloces por lo que se requiere de motores de D.C. debido a que son los más rápidos.
- Los robots móviles de rutas programadas, requieren exactitud en sus movimientos por lo que es aconsejable el uso de motores de paso, debido a que los motores de paso son los motores con los que se obtiene mejor precisión.

En la figura 3.2.5 se muestra el diagrama eléctrico del bloque de potencia con las conexiones de los motores y el driver. Este diagrama no especifica el tipo de motor que utiliza.

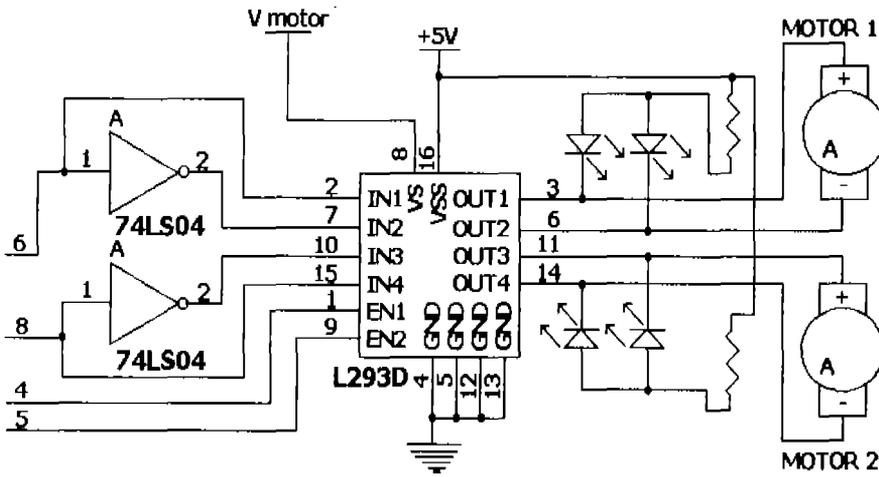


Figura 3.2.5. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA CONEXIÓN DE LOS MOTORES CON EL DRIVER.

### BLOQUE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.

Para el suministro de energía utilizan dos baterías de níquel-cadmio (NiCa), una batería de 12 volts para suministrar potencia a los motores, y otra batería de 9 volts para alimentar a todos los demás circuitos integrados que contenga el robot móvil. Los circuitos digitales manejan un voltaje de polarización de 5 volts, por lo que se requiere el uso de un regulador de voltaje a la salida de la batería de 9 volts.

Las tierras de los circuitos integrados deben estar aterrizadas en el mismo punto, de lo contrario no funcionará el robot móvil.

Para la regulación del voltaje, se utiliza el regulador cuyo número es "7805", el cual cuenta con tres terminales, una es la entrada del voltaje que se desea sea regulado para este caso se conecta a la batería de 9 volts, la otra terminal debe ser conectada a la tierra común y la última terminal que es la salida del regulador queda fija a un voltaje de 5 volts, esta terminal es utilizada para suministrar energía a todos los circuitos integrados. Entre la terminal de salida y la terminal de entrada del regulador de voltaje se requiere conectar dos capacitores de 0.1mf para eliminar el rizo existente en la fuente principal

## BLOQUE REGULADOR DE VOLTAJE

Para el suministro de energía se utilizan dos baterías de níquel-cadmio (NiCa), una batería de 12 volts para suministrar potencia a los motores, y otra batería de 9 volts para alimentar a todos los demás circuitos integrados que contenga el robot móvil. Los circuitos digitales manejan un voltaje de polarización de 5 volts, por lo que se requiere el uso de un regulador de voltaje a la salida de la batería de 9 volts. Las tierras de los circuitos integrados deben estar aterrizadas en el mismo punto, de lo contrario no funcionará el robot móvil.

Para la regulación del voltaje, se utiliza el regulador cuyo número es "7805", el cual cuenta con tres terminales, una es la entrada del voltaje que se desea sea regulado para este caso se conecta a la batería de 9 volts, la otra terminal debe ser conectada a la tierra común y la última terminal que es la salida del regulador queda fija a un voltaje de 5 volts, esta terminal es utilizada para suministrar energía a todos los circuitos integrados. Entre la terminal de salida y la terminal de entrada del regulador de voltaje se requiere conectar dos capacitores de 0.1mf para eliminar el rizo existente en la fuente principal. En la figura 3.2.6a se muestra la hoja de especificaciones del regulador de voltaje 7805, y en la figura 3.2.6b se tiene el diagrama eléctrico de la tarjeta de regulación de voltaje.

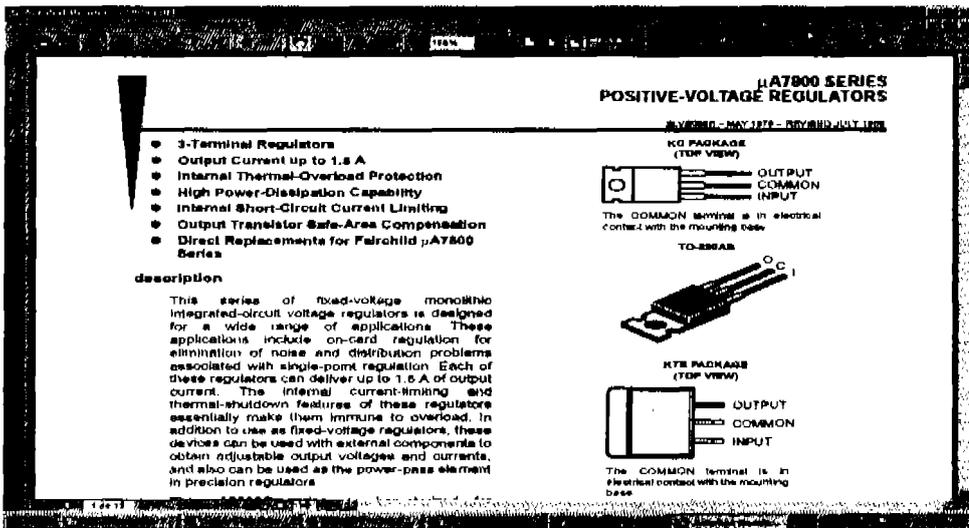


Figura 3.2.6a. . REGULADOR DE VOLTAJE (7805).

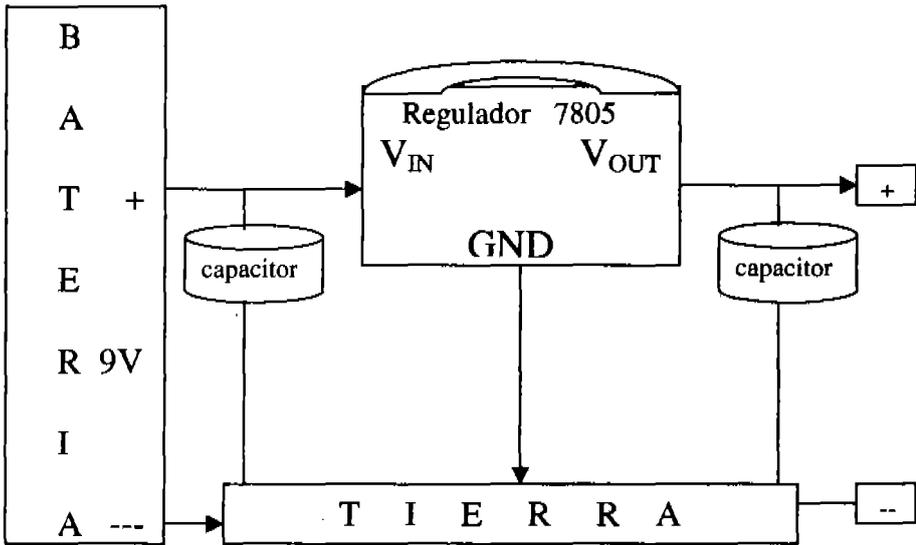


Figura 3.2.6.b. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA ETAPA DE REGULACIÓN

Entre la terminal de salida y la terminal de entrada del regulador de voltaje se requiere conectar dos capacitores de 0.1mf para eliminar el rizo existente en la fuente principal. La tierra debe ser la misma para todos los circuitos integrados.

### 3.3 CONTROL Y TOMA DE DECISIONES

El análisis de la toma de decisiones se realiza, tomando en cuenta que las entradas del control vienen dadas por las señales del amplificador operacional que a su vez son las señales de provenientes de los sensores, y el control, dependiendo del valor de estas señales, envía al driver información para los motores.

El control debe mandar la información al driver acerca del encendido o apagado de cada motor, al igual que la información del sentido de giro de cada motor. El análisis se hace utilizando una tabla de verdad, similar al de la figura 3.3.1. Se debe tomar en cuenta que los sensores mandan la señal utilizando lógica negada, esto es, que cuando un sensor ve la línea blanca manda un "cero lógico", y cuando no la ve manda un "uno lógico". Las señales de los sensores que son las entradas al control están representadas de la siguiente manera:

- Sensor derecho = S1
- Sensor de en medio = S2
- Sensor izquierdo = S3

Las señales de salida del control son cuatro, esto se debe a que cada motor requiere una señal para ser o no habilitado = M, y otra para indicarle la dirección de giro = D, por lo tanto:

- M1,D1 = Señales del motor derecho
- M1,D2 = Señales del motor izquierdo.

E N T R A D A S			S A L I D A S			
S1	S2	S3	M1	D1	M2	D2
0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	0
0	1	0	0	*	0	*
0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	*	0	*

Gráfica 3.3.1. ENTRADAS Y SALIDAS DEL CONTROL

## TOMA DE DECISIONES

- Cuando los tres sensores ven la línea blanca, el robot debe caminar para atrás.
- Cuando el sensor izquierdo es el único que ve la línea, el robot debe dar la vuelta a la izquierda.
- Cuando el sensor izquierdo y el central ven la línea, también el robot debe dar la vuelta a la izquierda
- Cuando el sensor derecho es el único que ve la línea, el robot debe dar la vuelta a la derecha.
- Cuando el sensor derecho y el central ven la línea, también el robot debe dar la vuelta a la derecha
- Cuando el sensor central es el único que ve la línea, el robot debe caminar para adelante,
- Cuando ningún sensor ve la línea, el robot se detendrá.

Existen dos tipos de controles que se pueden manejar con lógica programable

- Control utilizando una memoria "EPROM"
- Control utilizando un "CPLD" o un "FPGA"

El Control utilizando una memoria EPROM, se utiliza mediante el circuito integrado NMC27C64, que es una memoria que cuenta con 13 líneas de dirección y 8192 registros (se puede utilizar cualquier memoria EPROM con al menos tres líneas de dirección y 8 registros). Se requiere de tres líneas de dirección para recibir la información proveniente de los tres sensores, por lo que las demás líneas de dirección se aterrizan. Se maneja una memoria EPROM como control, la cual se requiere grabar, para ello se necesita hacer una tabla que contenga las líneas de dirección necesarias y el contenido de los registros usados.

D I R E C C I Ó N			C O N T E N I D O
0	0	0	11110000
0	0	1	11100000
0	1	0	01010000
0	1	1	11100000
1	0	0	10110000
1	0	1	10100000
1	1	0	10110000
1	1	1	01010000

Gráfica 3.3.2. DIRECCIÓN Y CONTENIDO DE LA MEMORIA EPROM

El otro control del robot se basa en el uso de un CPLD (Complex Programmable Logic Device) este chip (circuito integrado) es un dispositivo lógico programable basado en "términos producto", con la configuración de una memoria EEPROM.

Cuenta con 128 macroceldas internamente agrupadas en 8 bloques de arreglos lógicos básicos ( Logic Array Basic ) llamados LAB's de 16 macroceldas cada uno, y una matriz de ruteado llamado PIA ( Programmable Interconnected Array), que permite la total interconexión de todas las macroceldas que se encuentran dentro de el. Este chip cuenta con 64 macroceldas que están directamente asociadas a 64 pines del chip, para conectarse con el mundo externo; las restantes son útiles para la síntesis de lógica intermedia y polarización. Tiene una complejidad equivalente a 2500 compuertas.

Lo revolucionario de estos dispositivos es que además de poder ser programado mediante el programador convencional de ALTERA (PL-ASAP2 +PLMJ7000-84), también pueden programarse mediante una interfase tipo JTAG ( Joint Test Action Group), usando 4 pines dedicados y sin necesidad de ser removido de la tarjeta de desarrollo; esta característica se denomina ISP ( In-System-Programming). Para ello la compañía ALTERA ha desarrollado un circuito dentro de un cable denominado ByteBlaster, que por un lado se interconecta con la tarjeta de desarrollo donde esta el dispositivo a programar a través de un conector de 10 pines denominado ISP Conector, y por el otro lado, al puerto paralelo de la computadora donde se esté ejecutando el programa. Este circuito integrado se encuentra en una tarjeta de desarrollo diseñada y construida en el laboratorio de Dispositivos Lógicos Programables de la Facultad de Ingeniería la figura 3.3.3.muestra el diagrama eléctrico de una tarjeta de desarrollo.

La tarjeta de desarrollo incluye los circuitos propios del ByteBlaster, por lo que para programar el CPLD solo se requiere que el cable del puerto paralelo de la PC sea conectado al conector CENTRONICS de la tarjeta de desarrollo. Las características principales de la tarjeta de desarrollo son que tiene dimensiones reducidas, contiene un regulador de voltaje de 1 Ampere, al igual que un generador de reloj de 8MHz, que puede ser deshabilitado si se desea; cuenta con una entrada para programar los circuitos integrados 7032S, 7064S ò 7128S o cualquier otro circuito integrado que se ponga en la tarjeta de desarrollo y que sea de la marca ALTERA de 84 pines, tiene conectores de expansión que permiten tener acceso a todos los pines del chip dentro de la tarjeta de desarrollo, se conecta directamente a una computadora a través de un cable de impresora estándar tipo CENTRONICS, al puerto paralelo de la computadora. La tarjeta cuenta con un zócalo para poner un circuito integrado de 84 pines, PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier), un conector CENTRONICS (J5), un conector de salida ISP de 10 pines (U6), un conector de alimentación de 3 pines (J4), dos conectores de entrada/salida de 40 pines (J1 y J2), un regulador de voltaje LM7805(U5), un disipador para el regulador de voltaje, un oscilador de salida CMOS de 8MHz(U3), un circuito integrado 74LSM44(U4), dos capacitores electrolíticos (C6 y C7), cuatro capacitores cerámicos de desacople estándar (C1 a C4), un capacitor de desacople de montaje



### 3.4 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL

Este programa ha sido desarrollado en el lenguaje de programación VERILOGHDL, que es un lenguaje HDL (Hardware Description Language), este tipo de lenguaje tiene la ventaja de que en cada instrucción se aparta un espacio en el CPLD (chip) utilizado. El programa maneja cinco señales de entrada que son las requeridas por el control, las cuales son:

- clk                    señal de reloj
- ISD, ISC, ISI        señales provenientes de los tres sensores.
- reset                    señal de reset.

Las salidas son siete en total, pero están divididas en dos categorías, las salidas que manejan las señales activadoras y las salidas que manejan señales indicadoras. Es importante hacer esta diferencia porque el control, por ser digital, maneja voltajes bajos, por lo que para activar señales activadoras en las que se requiere el movimiento; por ejemplo, de un motor, se requiere utilizar como interfaz un driver, para aumentar el voltaje de salida y lograr mover el motor.

#### SEÑALES DE SALIDA ACTIVADORAS

Cada una de las combinaciones posibles con estas variables realizará los movimientos básicos para que el robot siga la pista (adelante, vuelta a la derecha, vuelta a la izquierda y alto).

- **M1, M2**            señales que encienden cada uno de los motores.
- **D1, D2**            señales que indican el sentido del giro de los motores (adelante y atrás)

#### SEÑALES DE SALIDA INDICADORAS:

**OS1, OS2, OS3**, son señales que se envían a los leds (diodos emisores de luz) e indican la información captada por los sensores (0 = Blanco y 1 = Negro)

Dentro del módulo se establece que las variables de salida de control son registros de memoria, es decir, que los valores permanecen hasta que no exista una nueva modificación.

También se declaran otros registros, uno para los ocho posibles estados de la carta ASM, otro para un contador que es el que lleva una cuenta que determina cuándo se detiene el robot (al recorrer una distancia aproximada de 20 cm.); otro, para una bandera que se activará cuando el contador anterior llegue al valor en el cuál se deba detener el robot y por último uno más para el divisor de frecuencias, ya que la tarjeta de desarrollo tiene un reloj interno de 8 MHz.

Por último se define la variable en la que se asignará una de las frecuencias resultantes del divisor. A continuación se presenta el fragmento del programa en el cual se enuncian dichas declaraciones:

```
module
robot6(clk,ISD,ISM,ISI,M1,M2,D1,D2,
OSD,OSM,OSI,reset);
input clk,ISD,ISM,ISI,reset;
output M1,M2,D1,D2,OSD,OSM,OSI;
reg M1,M2,D1,D2;
reg [2:0] estado;
reg [11:0] contadoralto;
reg "finrecorrido";
reg [19:0] divisor;
wire reloj;
```

//0 = Blanco 1 = Negro

En seguida se muestran los valores que se asignaron a cada uno de los estados que son definidos como parámetros. Estos valores son algunas de las posibles combinaciones con 3 dígitos binarios, es decir: 000, 001, 010, 011 y 100. Cada una de estas combinaciones nos indicará los valores que se asignarán a las variables de salida de control, es decir, las que moverán al motor en una dirección determinada.

```
parameter s0 = 4'b000, //alto = 4'b0000
SD = 4'b001, //gira a la derecha = 4'b1101
SM = 4'b010, //gira a la izquierda = 4'b1110
SI = 4'b011, //avanza = 4'b1111
S4 = 4'b100; //alto = 4'b0000
```

Así mismo, a las variables de salida indicadoras se les asigna el valor de las señales de entrada de los sensores para indicar las lecturas de los mismos. De igual manera, a la variable reloj se le asigna el divisor que contiene un valor menor al proporcionado por la tarjeta.

```
assign OSD = ISD;  
assign OSM = ISM;  
assign OSI = ISI;  
assign reloj = divisor[13];
```

La siguiente parte del programa consta de tres submódulos cada uno conteniendo una subrutina "always". Estas subrutinas se ejecutan en forma paralela, es decir, simultáneamente. Las instrucciones contenidas en cada uno de los bloques se ejecutan de forma secuencial, pero los bloques completos se realizan en forma paralela entre sí.

El primer submódulo con una subrutina "always" nos indica que siempre que haya un flanco de subida en la señal de reloj, el divisor se incremente en 1.

```
"always" @(posedge clk)  
begin  
divisor = divisor + 1;  
end
```

El segundo submódulo con otra subrutina "always" indica que siempre que cuando se encuentre en algún estado establecido en la sección de parámetros, de acuerdo con cada uno de ellos, se asigne un valor a las señales de salida de control.

Para el estado S0 se asignaran los valores siguientes:

M1=0, M2=0, D1=0 y D2=0. Estos valores indican un alto.

Para el estado SD se asignarán los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=0 y D2=1. Estos valores indican vuelta a la derecha.

Para el estado SM se asignarán los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=1 y D2=0. Estos valores indican vuelta a la izquierda.

Para el estado SI se asignarán los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=1 y D2=1. Estos valores indican que el robot avance.

Para el estado S4 se asignarán los valores siguientes:

M1=0, M2=0, D1=0 y D2=0. Estos valores indican un alto.

```

always @(estado)
begin
case (estado)
s0 : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b0000; end
    //alto
SD : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1101; end
    //derecha
SM : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1110; end
    //izquierda
SI : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1111; end
    //avanza
s4 : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b0000; end //alto
    endcase
end

```

En el último submódulo que también contiene otra subrutina “always” indica que siempre que exista un flanco de subida en la señal de reloj o que la señal de reset esté funcionando se activa la bandera que indica el fin de recorrido y que se reinicie el contador. Continuando con la secuencia se sensan las variables “finrecorrido”, ISD, ISM e ISI para determinar el estado en el que se debe encontrar de acuerdo con la información proveniente de los sensores, así como las acciones a seguir. Por ejemplo, si “finrecorrido”=0, ISD=0, ISM=0 e ISI=0, las acciones serán:

```

contadoralto=0      inicializar el contador
estado=SI           asignar como estado actual al estado SI

```

En la última parte se detecta el caso en el que el robot tiene que hacer un alto total después de cierto intervalo de tiempo, con la ayuda del contador y de la bandera “finrecorrido”, que hacen posible que se determine cuando el robot ya ha recorrido aproximadamente 20cm. de discontinuidad en la pista.

```

always @(posedge reloj or posedge reset)
begin
if(reset == 1'b1) begin
finrecorrido = 0;
contadoralto = 0;
end
else begin
case ({finrecorrido,ISD,ISM,ISI}) //ISD ISM ISI
ISI ISM ISD accion //$=blanco
4'b0000 : begin contadoralto = 0; //blanco blanco
blanco $ $ $ avanza
estado = SI;
end

```

```

4'b0001 : begin                //blanco blanco
negro    $ $ derecha
contadoralto = 0;
estado = SD; //derecha
end

4'b0010 : begin
//blanco negro blanco
$ $ derecha
contadoralto = 0;
estado = SD; //derecha
end
4'b0011 : begin estado = SD; //blanco negro
negro    $ derecha
contadoralto = 0;
end
4'b0100 : begin                //negro blanco
blanco  $ $ izquierda
contadoralto = 0;
estado = SM; //izquierda
end
4'b0101 : begin estado = SI; //negro blanco negro    $ avanza
contadoralto = 0;
end
4'b0110 : begin estado = SM; //negro negro blanco    $ izquierda
contadoralto = 0;
end
4'b0111 : begin                //negro negro negro    avanza
if(contadoralto == 12'b000111011111)
"finrecorrido" = 1;
else
contadoralto = contadoralto + 1;
estado = SI;
end
4'b1111 : begin estado = s4; end //negro negro
negro    alto con fin=1
default : begin estado = s4; end //caso no
considerado se detiene
endcase
end
end
endmodule

```

### 3.5 SIMULACIÓN EN COMPUTADORA DE LOS MOVIMIENTOS DEL ROBOT

Para la simulación en computadora de los movimientos del robot se utiliza un software llamado "MAX-PLUS II" (Multiple Array matrixX-Programmable Logic User System II), que suministra una plataforma múltiple e independiente de una arquitectura en particular, además de que se adapta fácilmente a las necesidades de cualquier diseño, y por ello ofrece una forma fácil de diseñar y simular proyectos.

"MAX-PLUS II" cuenta con herramientas para crear los diseños de una manera jerárquica, poderosa síntesis lógica, compilación, partición, simulación funcional y en tiempo, simulación enlazada con varios dispositivos, análisis de tiempo etc. Max+Plus II incluye once programas de aplicación y el ambiente integrado.

La Figura 3.5.1 muestra las once aplicaciones que se tienen en la plataforma de "MAX-PLUS II", y en la figura 3.5.2 se muestra la simulación en la misma plataforma de los movimientos del robot.

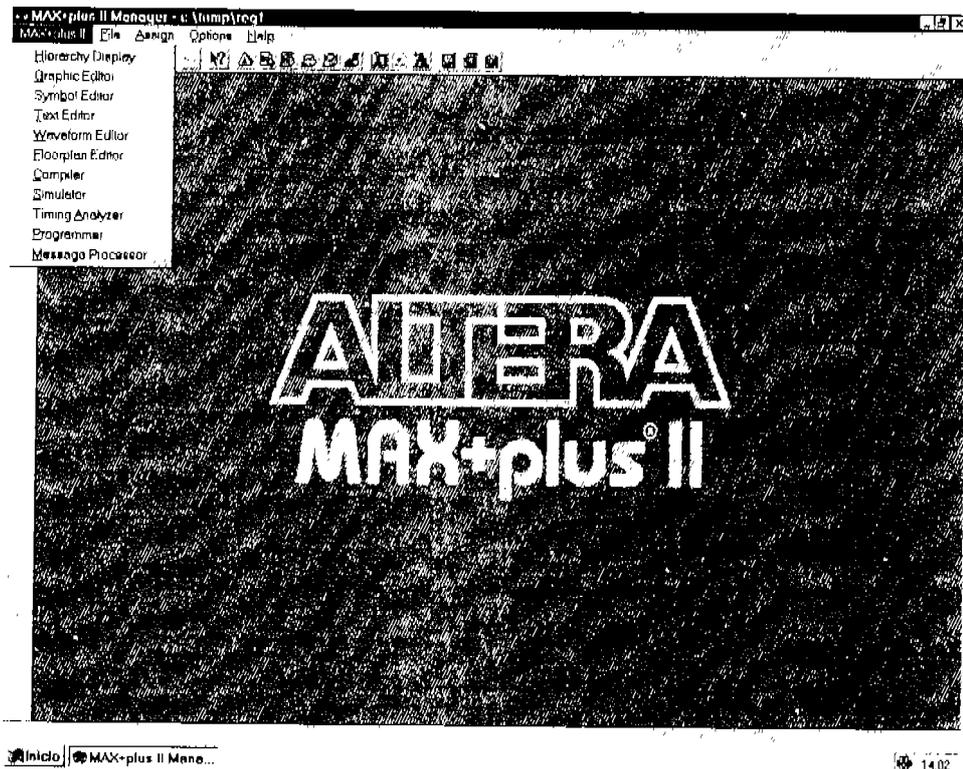


Figura 3.5.1. PLATAFORMA DE MAX+PLUS II

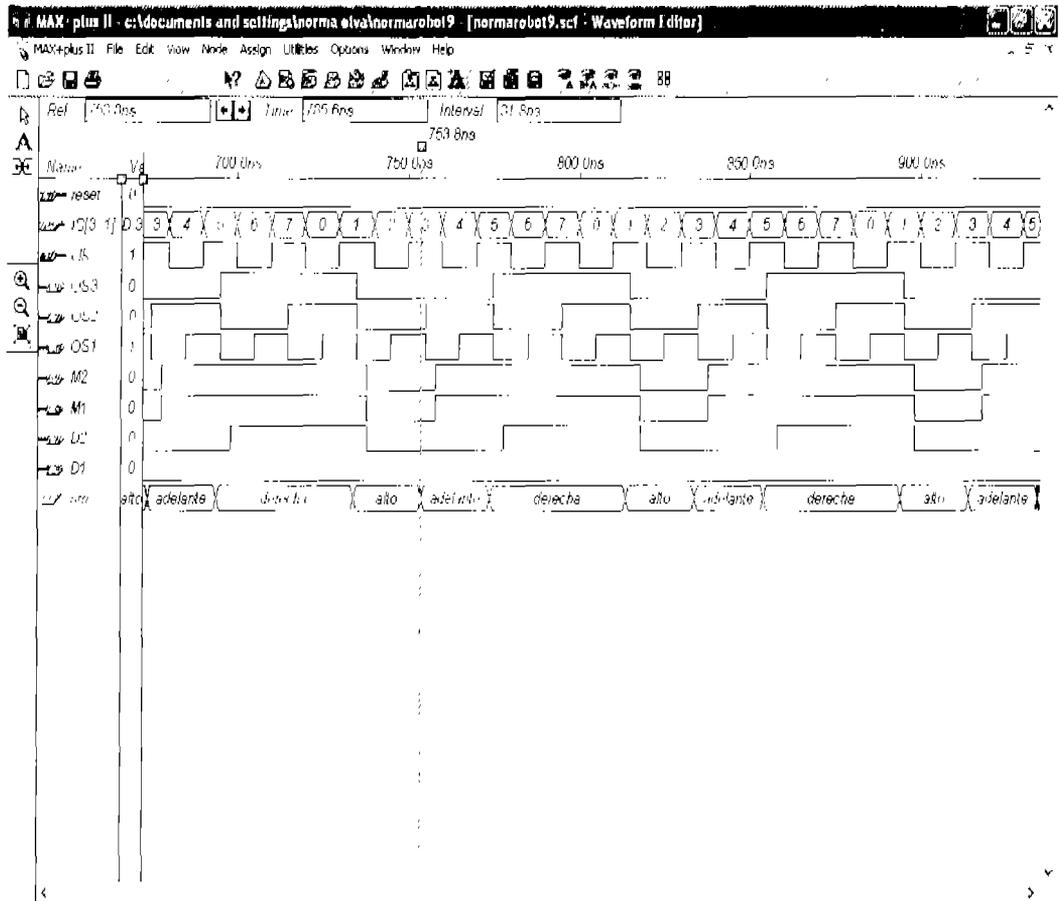


Figura 3.5.2. SIMULACIÓN DE LAS SEÑALES DEL CONTROL DEL ROBOT

La figura 3.5.2 muestra la simulación de las señales del control en el robot móvil, las entradas son tres: un reset, un reloj y la señal agrupada IS(3..1) que es la que maneja las señales enviadas por los sensores. Al darle distintos valores a estas tres entradas, se obtienen las salidas necesarias para analizar el funcionamiento de los movimientos que tendrá el robot móvil como puede observarse en la señal sm.

# CAPÍTULO 4. APLICACIÓN METODOLÓGICA

Un proyecto es una serie de tareas organizadas para lograr una meta específica. Los proyectos están a menudo asociados con productos únicos o no repetitivos, y son controlados por la dirección de proyectos, que es una parte de la dirección de operaciones, en la cual se encuentran dos componentes principales: uno de ellos enfatiza principalmente las cuestiones sobre la conducta de las personas; el otro se centra en la tecnología del método (cálculo de los tiempos de comienzo y finalización, rutas críticas, etc.). Este trabajo se enfoca en la descripción de los aspectos técnicos de la dirección de proyectos, omitiendo asuntos relacionados con las personas. Se explica la parte práctica del diseño y construcción de un robot móvil, primero se explica que es la desagregación estructural del trabajo, y se hace un análisis de las etapas por las que se debe pasar, posteriormente se analiza el proceso de manufactura, y el control del proyecto. Para el manejo de la cantidad de recursos requeridos, tiempo y costos, antes de iniciar el proyecto y supervisar las distintas actividades e identificar que tareas pueden tener cierta holgura y cuáles son tareas críticas que no pueden retrasarse porque retrasarían la finalización del proyecto, se utiliza la dirección de proyectos, posteriormente se utiliza el programa de evaluación y revisión "PERT" (program evaluation and review technique network) con tres actividades estimadas de tiempo.

En este capítulo también se hace un modelo de programación de tiempos y costos y se desglosan las actividades necesarias para el diseño y construcción de un robot móvil. La planificación diaria y el control del proyecto se manejan mediante la programación de la ruta crítica. La programación de la ruta crítica se hace de dos formas, la primera es en forma gráfica para que el lector vea las etapas por las que el proyecto pasa, posteriormente se utiliza un software llamado "Project Manager" que se utiliza para llevar el control del proyecto.

## 4.1 DESAGREGACIÓN ESTRUCTURAL DEL TRABAJO

La desagregación estructural o descendente es el método a través del cual un proyecto se divide en tareas y subtareas y es el corazón de la dirección de proyectos. Para la desagregación de un robot móvil es necesario comprender, entender y manejar las etapas por las que se debe pasar, como se muestra en la figura 4.1

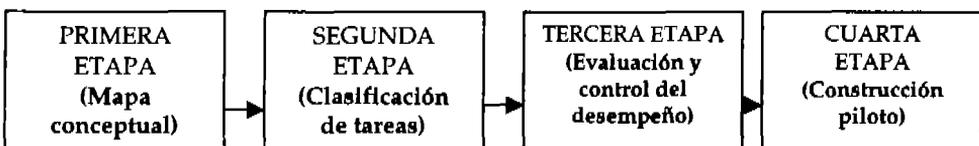


Figura 4.1. ETAPAS PARA LA DESAGREGACIÓN ESTRUCTURAL EN UN ROBOT MÓVIL

La descripción de cada una de las etapas por las que el diseño y construcción de un robot móvil, deben pasar se explica a continuación:

### MAPA CONCEPTUAL DEL ROBOT MÓVIL (primera etapa)

La primera etapa contempla los diferentes elementos considerados para conceptualizar el diseño, desarrollo y producción de un robot móvil, al principio de este nivel los elementos tomados en cuenta están en forma subjetiva, por lo que se debe hacer la transformación con parámetros tangibles. En esta etapa es muy importante tener una clara idea de lo que se quiere hacer y de los recursos necesarios, porque las decisiones tomadas aquí repercuten en las siguientes etapas. La figura 4.2, muestra el mapa conceptual de un robot móvil en general, la cual toma en cuenta todos los elementos requeridos en la construcción de un robot móvil.

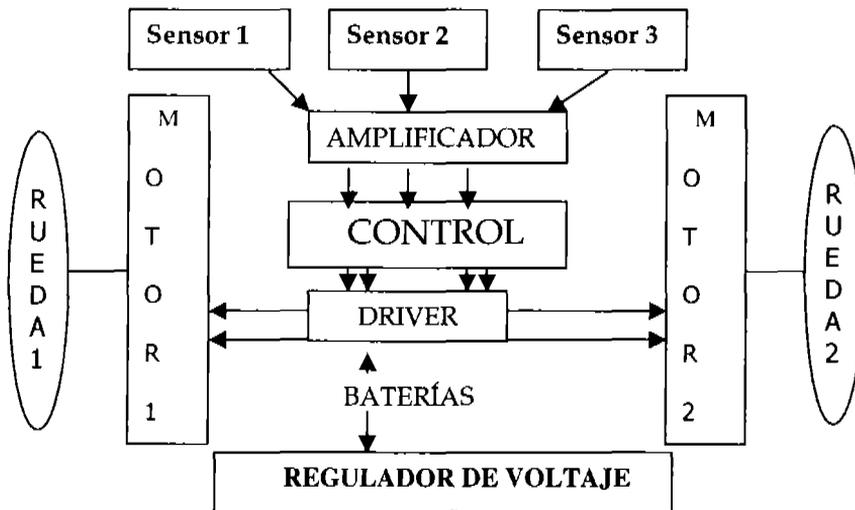


Figura 4.2. MAPA CONCEPTUAL DE UN ROBOT MÓVIL

### CLASIFICACIÓN DE TAREAS (segunda etapa)

La clasificación de tareas se realiza con base en el mapa conceptual de la primera etapa, lo que significa para este caso, el diseño, construcción y puesta en marcha de un robot móvil. Esta etapa tiene como principal función minimizar los costos, pero con una aceptable calidad. Para la clasificación de tareas, lo primero es dividir el robot en bloques, como puede observarse en la figura 4.3, para posteriormente mediante el uso del diagrama de "Gantt" visualizar las distintas actividades requeridas. El diagrama de "Gantt" es un algoritmo gráfico que contiene barras y fue desarrollado por Henry "Gantt", durante la primera Guerra Mundial, para la programación del arsenal Francfort. En él se muestran las fechas de comienzo y finalización de las actividades y las duraciones estimadas, pero no aparecen interdependencias entre las distintas actividades.

El diagrama de "Gantt" es la forma habitual de presentar el plan de ejecución de un proyecto, recogiendo en las filas la relación y grado de dificultad de las actividades por realizar, mientras las columnas muestran la duración y situación en el tiempo de cada actividad, mediante una línea dibujada en el lugar correspondiente. La clasificación del diseño y construcción de un robot móvil, se puede ver la gráfica en la figura 4.4, la cual muestra las actividades necesarias para el diseño y construcción de un robot móvil y el tiempo que se requiere para finalizar cada tarea.

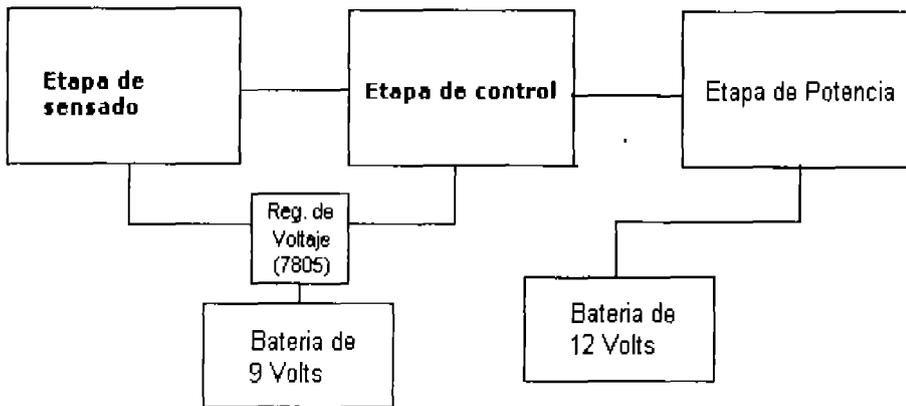


Figura 4.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN ROBOT MÓVIL

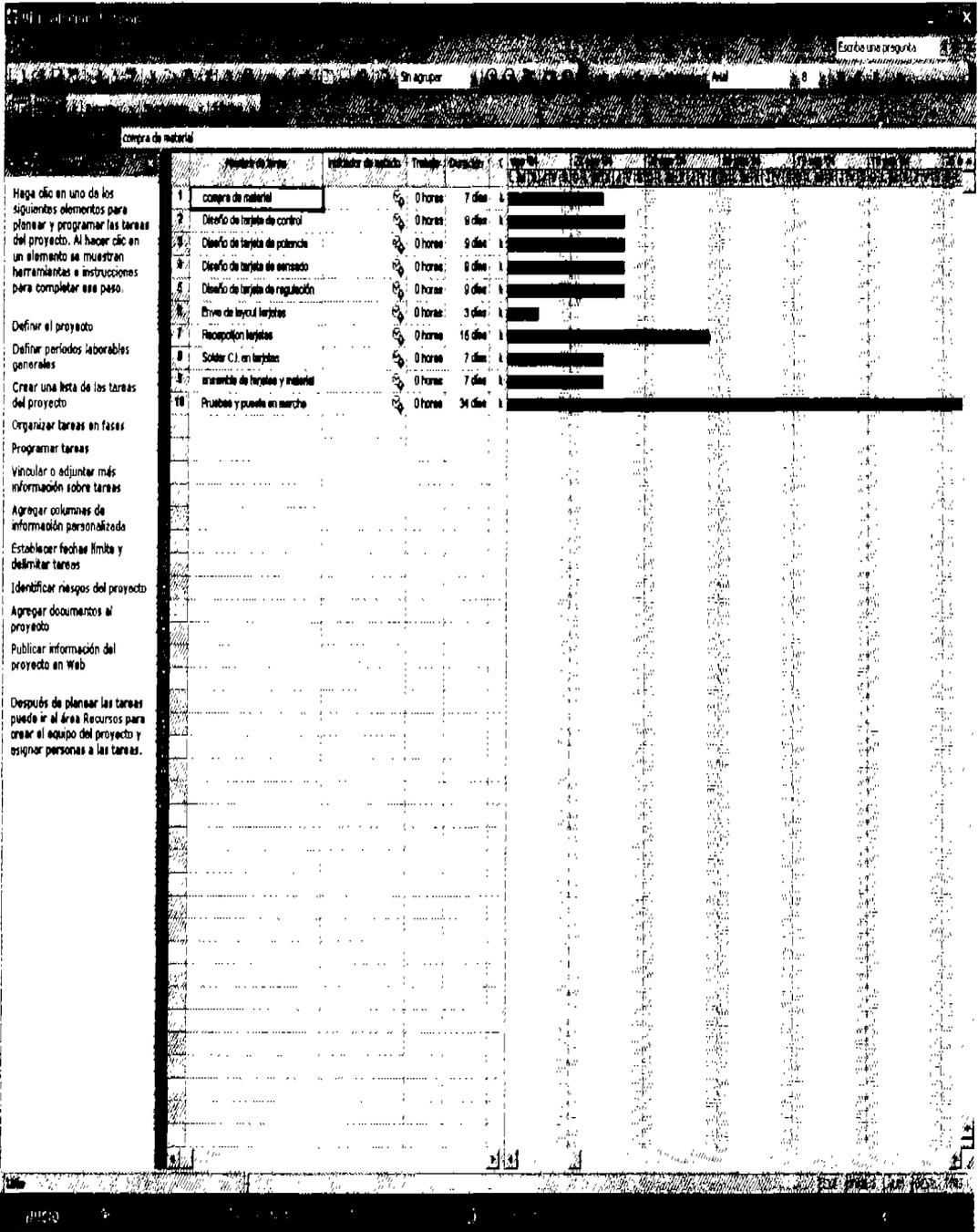


Figura 4.4. CLASIFICACIÓN DE TAREAS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

### **EVALUACIÓN Y CONTROL DEL DESEMPEÑO (Tercera etapa)**

Esta etapa es la encargada posterior a la construcción del robot móvil, de evaluar y controlar el desempeño del mismo y si es necesario retroalimentar, tanto la construcción como el diseño cuando existan fallas en el funcionamiento y desempeño de las tareas programadas al robot móvil, para corregir errores y mejorar su funcionamiento.

### **CONSTRUCCIÓN PILOTO DE ROBOTS MÓVILES (Cuarta etapa)**

Esta última etapa es en la que se hace una producción piloto de robots móviles. Para ello se utiliza un sistema MRP II, con el cual se desarrolla un programa maestro de producción, que maneja árbol estructural para la producción de diez robots móviles.

La división de tareas y subtareas, mediante la desagregación estructural, permite antes de construir el robot el análisis de las etapas por las que se debe pasar, posteriormente se requiere de la selección del proceso de manufactura, que dentro de esa desagregación estructural se utilizará, por lo que en el apartado 4.2, se hace un análisis del proceso de manufactura propuesto.

## **4.2 PROCESO DE MANUFACTURA PROPUESTO**

El proceso de manufactura propuesto y utilizado para el diseño y construcción de robots móviles, puede verse en la figura 4.5. El cual inicia con la etapa de compra de materiales a proveedores. La compra de materiales requiere ser de dos tipos:

- **Compra de materia prima:** La cual contiene los circuitos integrados y materiales necesarios para ensamblar los componentes de las tarjetas de sensado, de potencia, de regulación de voltaje, de motores, de suministro de energía y de control.
- **Compra de componentes:** en este tipo de compra se encuentran los Sensores (fototransistores y de movimiento), controles (memoria "EPROM", "CPLD" o FPGA) , motores ( servomotores, motores de pasos y motores de D.C. ) llantas ( anchas y delgadas), baterías ( de 9 y 12 volts), etc.

Una vez terminado el diseño de cada una de las tarjetas, es enviado al proveedor de impresos el "layout" de cada tarjeta para su construcción. Al recibir de dicha compañía las tarjetas es necesario soldarle a cada tarjeta los componentes que requiera. También en la figura 4.5, se puede observar que una vez que las tarjetas ya se encuentren con todos los componentes soldados, se pueden almacenar hasta que exista un pedido de algún cliente y los robots móviles quedan diferenciados en la etapa de ensamble para satisfacer las necesidades específicas de cada uno de los clientes.

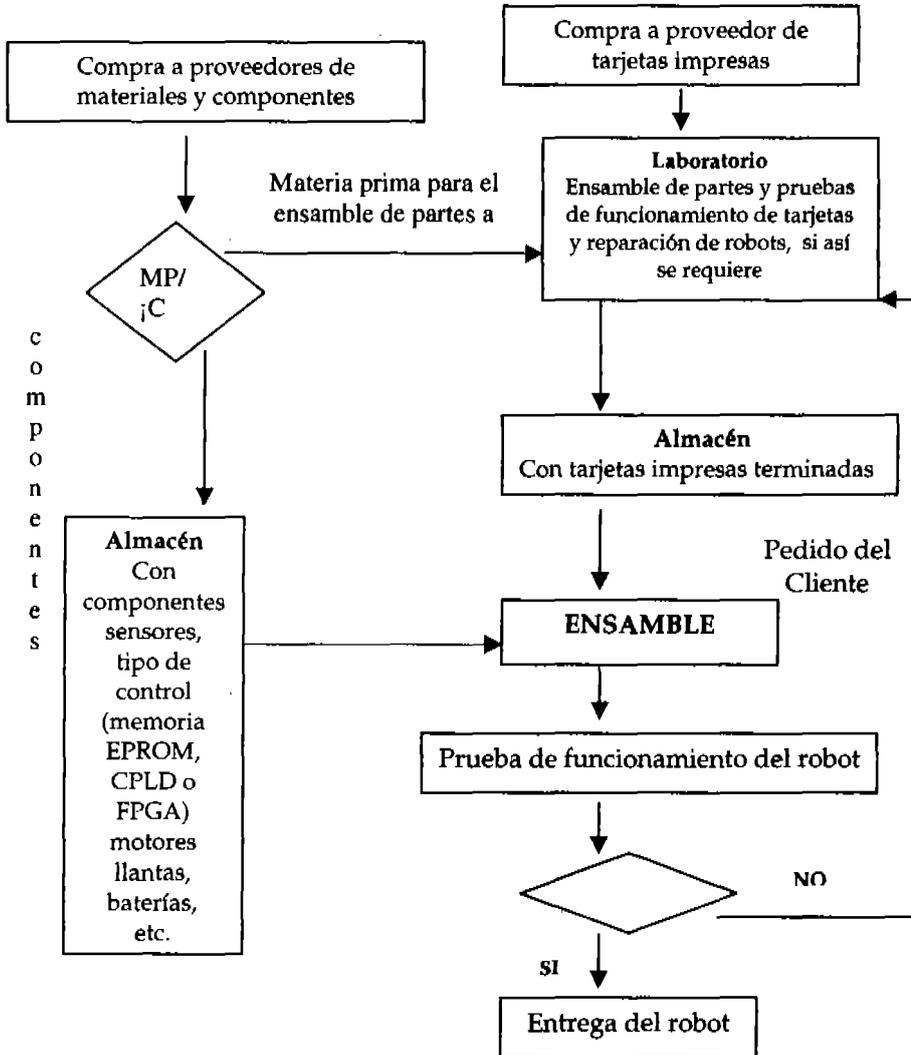


Figura 4.5 PROCESO DE MANUFACTURA PROPUESTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ROBOTS MÓVILES

### 4.3 CONTROL DEL PROYECTO.

Para manejar el control del diseño y construcción de un robot móvil, se requiere la identificación de actividades, por lo que se hace en base a la desagregación estructural del trabajo, en la que se identifican siete distintas actividades:

- (A) Diseño de un robot móvil
- (B) Construcción de tarjeta para sensado
- (C) Construcción de la plataforma para colocar los motores
- (D) Construcción tarjeta con el control y toma de decisiones.
- (E) Construcción de tarjeta de potencia y alimentación
- (F) Construcción de tarjeta para regular el voltaje
- (G) Evaluación del robot móvil

El siguiente paso es decidir el tiempo que se requiere para el diseño y construcción del robot móvil y con base en ello, desarrollar una gráfica en red del proyecto para determinar si el robot móvil puede ser terminado o no en ese tiempo y el porcentaje de probabilidad de que esto se cumpla. Se toma la decisión de que el robot móvil debe estar funcionando en un tiempo no mayor de 59 semanas.

En la figura 4.6, se muestran las distintas actividades, la asignación, el proceso anterior y tiempo requerido en cada actividad. Y en la figura 4.7, se muestra la red de actividades para el diseño, desarrollo y producción del robot móvil.

ACTIVIDAD	ASIGNACIÓN	PROCESO ANTERIOR	TIEMPO SEMANAS
Diseño del robot móvil	A	-----	21
Construcción de tarjeta para sensado	B	A	4
Construcción de la plataforma para colocar los motores	C	A	7
Construcción tarjeta con el control y toma de decisiones.	D	B	16
Construcción de tarjeta de potencia y alimentación y regulación de voltaje	E	C,D	5
Ensamble de partes ( tarjetas y componentes ) del robot móvil	F	C,D	8
Evaluación del robot móvil	G	E, F	2

Figura 4.6. SECUENCIA DE ACTIVIDADES

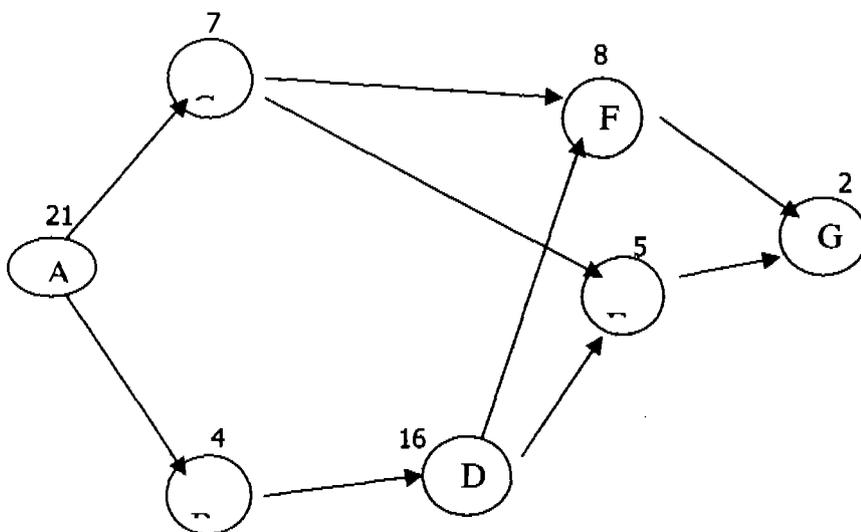


Figura 4.7. RED DE ACTIVIDADES PARA EL CONTROL DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

Para el control de tareas en el diseño y construcción de un robot móvil, se hace uso de la programación de la ruta crítica. La ruta crítica se define como la secuencia más larga de actividades adyacentes a través de la red. En otras palabras, el tiempo más corto, en el que el proyecto puede ser acabado se determina por el tamaño de la ruta crítica. Para encontrar la ruta crítica se identifican simplemente todos los caminos a través de la red y se calculan sus tiempos de finalización respectivos.

Aquel camino con el tiempo de finalización mayor es, por definición, el camino o ruta crítica. La programación de la ruta crítica, se refiere a un conjunto de técnicas de tipo gráfico utilizadas en la planeación y control de proyectos. Los tres factores a tener en cuenta son: tiempo, costo y recursos disponibles. Las técnicas de programación basadas en la ruta crítica se han desarrollado para manejar estos factores de forma individual y en combinación. El método PERT (Program Evaluation and Review Technique) técnica desarrollada por la marina de los Estados Unidos para la planificación del proyecto del misil "Polaris" y el CPM (Critical Path Method) técnica para programar intervenciones de mantenimiento preventivo en plantas de procesos químicos.

Ambas técnicas se centran en identificar la ruta más larga, en cuanto a duración de una red o conjunto de tareas, como base para la planificación y el control de un proyecto.

Con el paso de los años la diferencia entre estas dos técnicas se hizo difícil de distinguir. Porque los términos Pert y CPM se utilizan de forma intercambiable y con el mismo significado. En cierto sentido, ambas técnicas deben su desarrollo a su ampliamente utilizado predecesor, el diagrama de "Gantt". Mientras que el diagrama de "Gantt" es capaz de relacionar las actividades en el tiempo de una forma visualmente utilizable para proyectos muy pequeños, la interrelación entre actividades, cuando se presentan en este formato, resulta muy difícil de visualizar y de trabajar para proyectos con más de 25 o 30 actividades. Por otro lado, el diagrama de "Gantt" no proporciona un procedimiento directo para determinar la ruta crítica, la cual a pesar de sus deficiencias técnicas, es de gran valor práctico. En la cambiante industria de los robots es crucial dirigirse al mercado con un producto de este tipo en menos de un año. Por lo tanto se han dado unas 59 semanas para producir un robot móvil. Primero se hace un análisis utilizando el método de la ruta crítica con una sola estimación de tiempo, y posteriormente hacer el análisis de la ruta crítica con tres estimaciones. En la figura 4.8. Se observa la determinación de la ruta crítica, tomando la asignación de las actividades de la tabla contenida en la figura 4.6.

CAMINO	TIEMPO DE FINALIZACIÓN ( SEMANAS)
A - C - E - G	$21 + 7 + 5 + 2 = 35$
A - B - D - F - G	$21 + 4 + 16 + 8 + 2 = 51$
A - B - D - E - G	$21 + 4 + 16 + 5 + 2 = 48$
A - C - F - G	$21 + 7 + 8 + 2 = 38$

Figura .4.8. DETERMINACIÓN DE LA RUTA CRÍTICA

La ruta o sucesión de actividades A - B - D - F - G es la que lleva la mayor cantidad de tiempo para su finalización, 51 semanas, y es por lo tanto el camino crítico para este proyecto, por consiguiente, este proyecto no puede ser finalizado en menos de 51 semanas. Puesto que la máxima duración permitida se había fijado en 59 semanas; tal parece, en vista de lo anterior, que no existe ningún problema en conseguirlo. Lo siguiente es calcular el tiempo de holgura.

El tiempo de holgura es la cantidad de tiempo que una actividad se demora sin afectar al tiempo de finalización del proyecto.

La diferencia entre el tiempo de inicio más temprano y el tiempo de inicio más tardío (o también entre el tiempo de finalización más temprano y el tiempo de finalización más tardío) es el tiempo de holgura. Las diferencias entre los tiempos ES y EF, y los tiempos LS y LF, es la misma, y representa la cantidad de tiempo requerida para completar esa actividad específica, por tanto:

$$EF - ES = LF - LS = \text{tiempo de realización de la actividad.}$$

Donde:

- Tiempo de inicio más temprano- Early Start time- (ES)  
Es el momento más temprano en que una actividad puede empezar
- Tiempo de finalización más temprano -Early Finish time- (EF)  
Sería el tiempo de inicio más temprano de una actividad más el tiempo necesario para completarla
- Tiempo de finalización más tardío – Late Finish time- (LF)  
Es el tiempo de finalización más retrasado en que una actividad puede estar realizada sin demorar la duración total del proyecto
- Tiempo de inicio más tardío -Late Start time- (LS)  
Es el tiempo de finalización más retrasado menos el tiempo necesario para realizar la actividad

Para determinar el tiempo de holgura de una actividad hay que calcular, tanto el tiempo más temprano de inicio (ES) y el tiempo más tardío de inicio (LS) como el tiempo de finalización más temprano (EF) y el tiempo de finalización más retrasado (LF) para esa actividad. El tiempo de inicio más temprano para cada actividad se calcula de izquierda a derecha o «avanzando hacia delante» dentro de la red, empezando con la primera actividad A, para la que se fija el  $ES = 0$ .

Esto representa el inicio del proyecto. Para encontrar el ES para las actividades que siguen a la actividad A (por ejemplo B y C) se añade simplemente el tiempo que lleva finalizar la actividad A, que en este caso son 21 semanas, al ES para A, que es cero. Por ello, lo más pronto que se puede empezar, tanto la actividad B como la C son 41 semanas después de que se inició el proyecto, que es cuando la actividad A se completará. (En otras palabras,  $ESB$  o  $ESc = 0 + 41 = 51$ .)

De manera similar, el ES para la actividad D es el ES para la actividad B (21 semanas) más el tiempo de finalización B (39 semanas) siendo su  $ES = 45$  semanas ( $ESD = 41 + 4 = 45$ ). Este procedimiento se repite para cada actividad en la red.

Cuando más de una actividad precede a la actividad cuyo ES se pretende calcular, entonces se determina el ES para cada una de las rutas posibles, seleccionando finalmente el camino más largo; por que éste representa el mayor factor de restricción sobre el momento en que esa actividad puede comenzar. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{ESF} &= \text{MAX} ( \text{ESC} + \text{C}, \text{ESD} + \text{D} ) \\ \text{ESF} &= \text{MAX} ( 21 + 7, 25 + 16 ) \\ \text{ESF} &= \text{MAX} ( 28, 27 ) \\ \text{ESF} &= 42 \text{ semanas} \end{aligned}$$

Donde:

C = Tiempo de realización de la actividad "C"

D = Tiempo de realización de la actividad "D"

Por lo tanto el tiempo más temprano en el que se puede iniciar la actividad "F" son 42 semanas, después de comenzar el proyecto. Asimismo, por cálculos parecidos,  $\text{ES}_E = 48$  semanas y  $\text{ES}_G = 46$  semanas. Para obtener el LS para cada actividad, simplemente se realiza el proceso de cálculo del ES al revés, empezando por el final del proyecto. El LS para una actividad se define como el último momento en que una actividad puede ser iniciada, sin retrasar la finalización del proyecto completo. Como se empieza al final de la red y se trabaja de atrás hacia el principio, esto se denomina «vuelta atrás» a través de la red. La determinación del "LS" se empieza con la última actividad, G. Como ya se determinó anteriormente, la ruta crítica para el Proyecto es de 38 semanas. Por tanto, la última fecha en la que se puede iniciar la actividad G, y todavía finalizar el proyecto en 38 semanas, es 36 semanas, puesto que lleva dos semanas realizar dicha actividad. De manera similar,  $\text{LS}_F = \text{LS}_G - F = 36 - 8 = 28$  semanas, y  $\text{LS}_E = \text{LS}_G - E = 36 - 5 = 31$  semanas. Los otros tiempos de LS para las restantes actividades se calculan de forma parecida. Cuando más de una actividad sigue a la actividad que está siendo evaluada, entonces se debe calcular el LS para todos los caminos que se inician en dicha actividad, tomando aquel camino con el tiempo LS menor como el factor más restrictivo, ya que es el tiempo más retrasado en que la actividad puede ser iniciada, sin que con ello se alargue la duración total del proyecto. Por ejemplo:

$$\begin{aligned} \text{LS}_C &= \text{MIN} ( \text{LS}_F - \text{C}, \text{LS}_E - \text{C} ) \\ \text{LS}_C &= \text{MIN} ( 28 - 7, 31 - 7 ) \\ \text{LS}_C &= \text{MIN} ( 21, 24 ) \\ \text{LS}_C &= 21 \text{ semanas} \end{aligned}$$

Así, lo más tarde que se puede iniciar la actividad C es 21 semanas después de que se inicie el proyecto. De forma similar,  $LS_D = 25$  semanas y  $LS_A = 0$  semanas. Los tiempos de más temprano y más tardío para todas las actividades en el proyecto de diseño, desarrollo y producción del robot móvil y si dichas actividades forman parte de la ruta crítica se muestra en la tabla 4.4.4.

Como se ha dicho anteriormente, la diferencia entre el tiempo EF y el tiempo ES para una actividad es simplemente el tiempo que lleva realizar esa actividad. Ésta también es la diferencia que existe entre los tiempos LF y los tiempos LS para cada actividad. El resumen de actividades y costos se muestran en la tabla 4.9. Como se ha afirmado anteriormente, el tiempo total para cada actividad está definido tanto por la diferencia  $LS - ES$  como por  $LF - EF$ . En el proyecto de diseño, desarrollo y producción del robot móvil la holgura para la actividad E es de tres semanas. Hay que destacar que las actividades de la ruta crítica (A, C, F y G) no tienen ningún tiempo de holgura, y cualquier demora en estas actividades podría afectar al tiempo total de finalización del proyecto. Típicamente, el tiempo de finalización del proyecto se calcula utilizando el análisis de la red y luego se compara con la fecha final deseada. Así, mientras no hay holgura en cualquiera de las actividades de la ruta crítica, con respecto a la finalización del proyecto calculado, puede haber tiempos sobrantes en dicha ruta si la fecha final deseada de terminación es mayor. En este caso una fecha de finalización deseable de 59 semanas y un tiempo de acabado del proyecto calculado en unas 58 semanas, hay una semana de tiempo sobrante en la trayectoria de la ruta crítica.

Actividad	LS-ES	Holgura	Ruta crítica
A	0 - 0	0	SI
B	25 - 21	4	NO
C	21 - 21	0	SI
D	26 - 25	1	SI
E	31 - 28	3	NO
F	28 - 28	0	SI
G	36 - 36	0	SI

Figura 4.9. CÁLCULO DE LAS HOLSURAS Y RUTA CRÍTICA

Un **programa de inicio temprano** es aquel que considera todas las actividades en sus tiempos de inicio más tempranos. Para las actividades que no están en la ruta crítica se genera un tiempo sobrante entre la finalización de la actividad y el inicio de la siguiente actividad a la que precede. Estos tiempos muertos o de holgura representan una cierta flexibilidad y deben ser utilizados con inteligencia.

El programa de inicio más temprano completa el proyecto y todas sus actividades tan pronto como sea posible. Un **programa de inicio tardío** considera las actividades para su comienzo tan tarde como sea posible, sin demorar la fecha de acabado final del proyecto.

Una de las motivaciones para utilizar un programa de inicio de este tipo es que se pueden producir ahorros al posponer la compra de materiales, el uso del personal y otros costos hasta que sean necesarios. Si una sola estimación del tiempo requerido para completar una actividad no es fiable, la alternativa es utilizar tres estimaciones de tiempo. Incorporando tres estimaciones para cada actividad podemos tener la ocasión de calcular una probabilidad para la finalización de todo el proyecto. El procedimiento para utilizar este enfoque es el siguiente:

El tiempo estimado de ejecución de cada actividad es un promedio ponderado entre el tiempo optimista, tiempo esperado, tiempo pesimista, con el mayor peso concedido a la estimación de tiempo esperado y menor a los tiempos optimista y pesimista de ejecución. El tiempo de finalización estimado de la red se calcula entonces, utilizando estadística básica. En el proyecto de diseño, desarrollo y producción del robot móvil cada una de las actividades parciales tiene tres tiempos de ejecución estimada, asociados a ellas. El procedimiento de siete pasos para resolver este problema es el siguiente:

Donde:

- Identificar cada actividad a realizar en el proyecto (lo cual es idéntico al método CPM con una sola estimación de tiempo)
- Determinar las secuencia de actividades y construir una red, reflejando las relaciones de precedencia ( de nuevo, esto es idéntico al método CPM con una sola estimación de tiempo)
- Definir las tres estimaciones de tiempo para cada actividad

Las tres estimaciones de tiempo para cada actividad se definen como sigue:

**TOPT** = Tiempo optimista: el mínimo período razonable de tiempo en el que la actividad puede ser finalizada (Existe solo una pequeña probabilidad, típicamente asumida como de un uno por ciento de que la actividad se pueda realizar en un período de tiempo menor)

**TPROB** = tiempo probable: la mejor conjetura en cuanto al tiempo requerido. Como Prob es el tiempo más probable es también la moda de una distribución beta ( que se analiza en el siguiente paso)

**TPES** = Tiempo pesimista: el período de tiempo máximo razonable que llevará completar la actividad. (Hay solo una pequeña probabilidad, habitualmente se asume que sea el uno por ciento de que se pueda necesitar más tiempo)

Habitualmente, la información acerca de las tres estimaciones se obtiene de aquellas personas que van a desempeñar la actividad o de otros que son expertos en esa actividad. La fórmula para calcular el tiempo de finalización esperado (ET) para cada actividad es la siguiente:

$$ET = \frac{OPT + 4TPROB + TPES}{6}$$

Esta fórmula se desarrolla a partir de la distribución de probabilidad beta y pondera el tiempo más Probable (TPROB) cuatro veces más que el tiempo optimista (TOPT) o el tiempo pesimista (TPES). La distribución beta es una distribución extremadamente flexible. Puede tomar una variedad de formas que típicamente surgen en las actividades de un proyecto, y tiene puntos finales finitos, lo cual limita el tiempo posible de cada actividad al recorrido entre los valores TOPT y TPES. En su versión simplificada permiten además un cálculo directo de la media y la desviación estándar de la duración de cada actividad. La varianza,  $\sigma^2$  asociada con el tiempo esperado (ET) para cada actividad, se calcula utilizando la expresión de la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \left( \frac{TPES - TOPT}{6} \right)^2$$

Como se puede ver, la varianza es el cuadrado de un sexto de la diferencia entre los dos extremos de tiempo estimados y, por supuesto, cuanto mayor es esta diferencia, mayor es la varianza. Un resumen del tiempo esperado y la varianza de cada actividad implicada en el diseño, desarrollo y producción del robot móvil se expresan en la tabla de la figura 4.10.

ACTIVIDAD	ASIGNACIÓN	TIEMPOS ESTIMADOS			TIEMPO MEDIO ESPERADO	VARIANZA
		TIEMPO Optimista	TIEMPO Esperado	TIEMPO Pesimista		
Planeación de un robot móvil	A	10	22	28	21	9.00
Desarrollo y construcción de un robot móvil	B	1	4	7	4	1.00
Producción de 10 robots móviles	D	1	2	3	2	0.11
Evaluación de la producción	E	1	5	9	5	1.78
Escribir informe sobre métodos	F	7	8	9	8	0.11
Escribir informe (tesis)	G	2	2	2	2	0.00

Figura 4.10. TIEMPOS ESPERADOS POR ACTIVIDAD Y VARIANZAS

Utilizando los datos de la tabla de la figura 4.10. EL tiempo esperado de finalización para cada ruta es simplemente la suma de los tiempos de finalización esperados para las actividades que componen esa ruta. De forma similar, para calcular la varianza de cada ruta simplemente sumamos las varianzas de las actividades de dicha ruta. De nuevo utilizando los datos de la tabla de la figura 4.10. Se calculan las varianzas de las rutas y se agrupan en la tabla de la figura 4.11. Junto con los tiempos de ejecución esperados para cada uno.

RUTA	TIEMPO DE EJECUCIÓN ESPERADO (semanas)	VARIANZA
A-C-E-G	35	13.56
A-B-D-F-G	37	10.22
A-B-D-E-G	34	11.89
A-C-F-G	38	11.89

Figura 4.11. TIEMPOS Y VARIANZAS DE FINALIZACIÓN ESTIMADA PARA CADA RUTA

La probabilidad de finalizar el proyecto en una fecha determinada depende de la probabilidad de finalización en esa fecha de cada una de las rutas de la red. En el proyecto de diseño, desarrollo y producción del robot móvil el tiempo deseado para acabar el proyecto es de 59 semanas. En otras palabras, se quiere calcular la probabilidad de terminar el proyecto en 59 semanas o menos. Para ello se requiere determinar la probabilidad de cada una de las rutas de la red. Todas las rutas de la red requieren finalizarse en 59 semanas o menos para que el proyecto se pueda completar dentro del mismo período de tiempo. Por lo tanto, la probabilidad de finalizar el proyecto dentro de un tiempo determinado es igual al valor mínimo de las probabilidades de las diferentes rutas.

Utilizando los datos de la tabla 4.6, podemos determinar la distribución de probabilidad para cada ruta y calcular la probabilidad de que cada uno esté terminado en 59 semanas o menos. Para utilizar esta tabla necesitamos calcular previamente el valor Z asociado a cada ruta, indicando cuántas desviaciones típicas de las 59 semanas representan el tiempo de acabado esperado para cada camino.

La expresión para esto es:

$$Z = \frac{D - ET_p}{\sigma_p}$$

Donde:

**D** = Fecha deseada de terminación, **ET<sub>p</sub>** = Tiempo de realización esperado para la ruta, **σ<sub>p</sub>** = desviación típica para la duración de la ruta. De esta forma el valor de Z para cada ruta se calcula y se presenta en la tabla de la figura 4.6, junto con la correspondiente probabilidad que se obtiene de la tabla normal vista en el glosario. Como una aproximación, se puede determinar la probabilidad de finalizar el proyecto dentro de las 59 semanas o menos, como el mínimo de las probabilidades individuales de las diferentes rutas:

**Prob (proy' < 59) = MIN [(0.8621), (0.7357), (0.9265), (0.6141)]**

**Prob (proy' < 59) = 0.6141**

**Por lo tanto la Probabilidad de terminar el proyecto dentro de las 59 semanas es del 61.41%.**

Aun cuando su tiempo de finalización esperado, como se determina a través de los tiempos de finalización promedio de las actividades en la ruta crítica, es de 58 semanas. Es importante hacer un seguimiento y actualización de la programación de un proyecto en curso. Tal programación registra el progreso en la ejecución del proyecto e identifica los problemas a la vez que ocurren, mientras que todavía hay tiempo para corregir la situación. También se puede realizar un seguimiento de la evolución de los costos que se utiliza con frecuencia como referencia para los pagos parciales.

En la práctica, sin embargo, la mayoría de los programas a menudo se siguen de forma descuidada o son incluso completamente abandonados a su suerte. Quizá la razón más importante para que ocurra lo anterior es que los directivos no están suficientemente comprometidos con la técnica para insistir en que los programas se deben mantener al día. Los malos programas dan como consecuencia una mala fama a la programación de proyectos. La experiencia en cuanto a las técnicas de programación de proyectos es importante y este trabajo no debería relegarse sin mayor cuidado al primero que nos encontremos. El director del proyecto debe apoyar el programa y cuidar que se esté manteniendo al día.

#### **4.4. MODELO DE PROGRAMACIÓN DE TIEMPOS Y COSTOS**

En la práctica, los directores de proyecto están preocupados por igual con el costo de realizar un proyecto que con el tiempo que lleva el finalizarlo. Por esta razón se han desarrollado los modelos de programación de tiempos y costos.

Tales modelos, que son extensiones del PERT y el CPM: intentan elaborar un programa de costo mínimo para el proyecto completo y controlar los gastos así presupuestados durante la ejecución del proyecto. En el caso del diseño, desarrollo y producción de un robot móvil se tiene un porcentaje probable de finalización en 39 semanas de 61.4%, por lo que se puede suponer que es necesario aumentar una semana más para asegurar la finalización a tiempo del proyecto. Por lo que se considerará que el proyecto será de 40 semanas; sin embargo, se puede manejar lo que se llama acelerar o comprimir actividades para bajar el tiempo de finalización del proyecto analizando el costo de hacer esto.

La presunción básica en la programación del costo mínimo es que existe una relación entre el tiempo de finalización de las actividades y el costo de ejecución del proyecto. Por una parte, cuesta dinero no realizar una actividad; por otra, cuesta dinero sostener (o prolongar) el proyecto. Los costos asociados con las actividades elementales, en relación con la posible reducción de sus tiempos de acabado se denominan costos directos de la actividad y se añaden a los costos directos del proyecto.

Los costos adicionales que surgen cuando una actividad se realiza con celeridad, se denominan **costos de ruptura**. Algunos de estos costos pueden tener relación con el trabajo , como las horas extras, el contratar a más trabajadores , o el transferir algunos trabajadores de otras tareas, mientras que otros están relacionados con los recursos, tales como comprar o alquilar más equipo o un equipo más eficiente y contar con instalaciones de apoyo adicionales. Los costos asociados con la prolongación del proyecto en el tiempo se denominan **costos indirectos** del proyecto; son los gastos generales, los costos de las instalaciones, los costos de oportunidad de los recursos y, bajo ciertas situaciones contractuales, los costes de penalización o la pérdida por la demora en la entrega del proyecto. Ambos conceptos de costo, directos o de actividad y costos indirectos del proyecto, son magnitudes opuestas y dependientes del factor tiempo. El problema consiste esencialmente en encontrar aquella duración para el proyecto que minimiza la suma de ambos, en otras palabras, encontrar el punto óptimo en la relación de intercambio (frontera eficiente) de tiempos y costos. Para cada actividad de este diagrama se debería conocer:

- Costo normal (NC): Es el menor costo esperado de realización de la actividad (éstos son los menores costos que se muestran en la tabla de la figura 5.1 bajo cada nodo.
- Tiempo normal (NT) : Es el tiempo asociado con cada costo normal
- Tiempo de ruptura (CT) : Es el menor tiempo posible de una actividad
- Costo de ruptura (CC): Es el costo asociado con cada tiempo de ruptura.

Para hacer el diagrama de la red del diseño, se requiere manejar las dos partes del control del proyecto, las cuales son primeramente el diseño y construcción de un robot móvil para posteriormente controlar la producción de 10 robots móviles. Las actividades se agrupan de la manera que se muestra en la tabla de la figura 4.12 Asumiendo que los costos indirectos permanecen constantes para las 59 semanas y luego se incrementan en una proporción del 5% por semana. El diagrama de la red se puede ver en la figura 4.13.

ACTIVIDAD	ASIGNACIÓN
Diseño y construcción de un robot móvil	A
Evaluación y retroalimentación de la construcción del robot.	B
Producción de 10 robots móviles	C
Evaluación e Informe	D

Figura 4.12. ASIGNACIÓN DE ACTIVIDADES A NODOS.

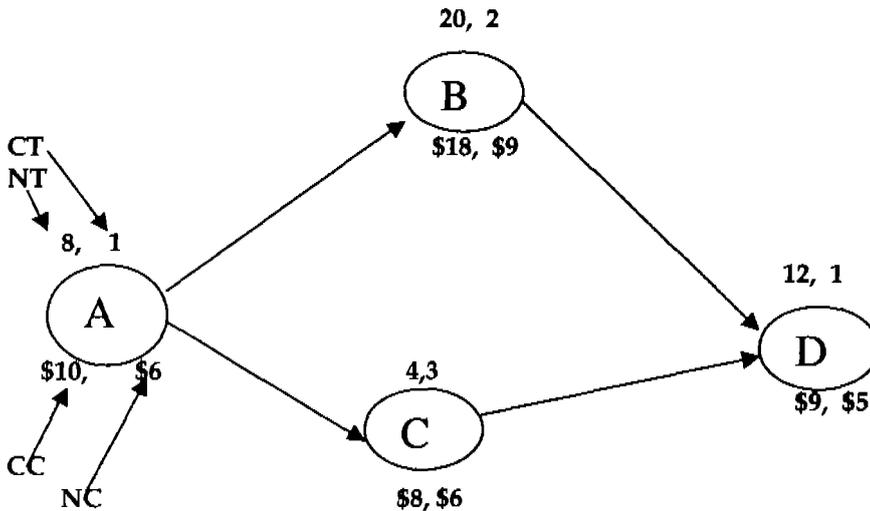


Figura 4.13. DIAGRAMA CPM CON LOS COSTOS DE LAS ACTIVIDADES

La relación entre el tiempo de ejecución de una actividad y el costo puede representarse gráficamente conectando las coordenadas CC y CT a las coordenadas NC y NT mediante un tramo de curva cóncavo, convexo, una línea recta o alguna otra forma dependiendo de la estructura de costo actual para la realización de la actividad, tal como se muestra en la figura 4.14. Para la actividad "A" por ejemplo, suponemos una relación lineal entre el tiempo y el costo. Esta suposición es una práctica muy común y facilita la determinación del costo diario de aceleración, ya que ese valor se puede calcular directamente a través de la pendiente de la recta utilizando la expresión:

$$\text{PENDIENTE} = \frac{\text{CC} - \text{NC}}{\text{NT} - \text{CT}}$$

La gráfica de costo por unidad de tiempo para la actividad "A" se observa en la figura 4.14 en la cuál el costo está dado en unidades monetarias y el tiempo en días.

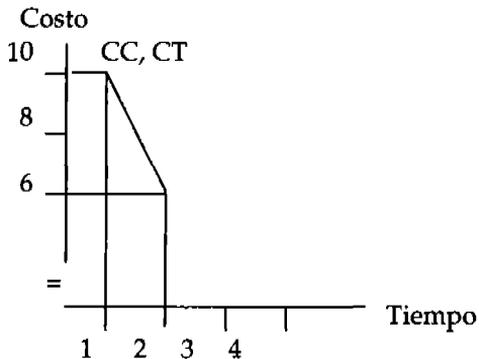


Figura 4.14 COSTO POR UNIDAD DE TIEMPO PARA LA ACTIVIDAD "A"

En el caso de no poder asumir la linealidad el costo de aceleración se debe determinar de forma gráfica para cada una de las semanas en que la actividad se acortaría. Los cálculos necesarios para obtener el costo de reducir o acelerar las actividades restantes están expuestos en la tabla de la figura 4.15.

Actividad	CC-NC	NT-CT	$(CC-NC)/(NT-CT)$	Costo de Aceleración Diaria	Número de semanas que la actividad se puede reducir
A	\$10-\$5	8-1	$\$10-\$5/8-1$	\$0.71	7
B	\$18-\$9	20-2	$\$18-\$9/20-2$	\$0.50	18
C	\$8-\$6	16-3	$\$8-\$6/16-3$	\$0.15	13
D	\$9-\$5	12-1	$\$9-\$5/12-1$	\$0.36	11

Figura 4.15. CÁLCULO DEL COSTO SEMANAL DE ACELERACIÓN DE CADA ACTIVIDAD

Existen ciertas premisas que es necesario asumir cuando se aplica el CPM o el análisis PERT en la programación de proyectos. Un punto de especial dificultad para el personal operativo es comprender la estadística cuando se utilizan tres estimaciones de tiempo. La distribución beta para los tiempos de actividades, las tres estimaciones de tiempo, las varianzas de cada actividad y el uso de la distribución normal para llegar a las probabilidades de finalización del proyecto, son todas ellas fuentes potenciales de malentendidos y cuando comienzan los malos entendidos vienen la desconfianza y la obstrucción.

Por lo tanto, la dirección debe asegurarse que el personal encargado del seguimiento y control de la ejecución de las actividades tiene un conocimiento general de estadística. Los proyectos sobre todo los que son muy complejos, cambian de contenido con el paso del tiempo y, por lo tanto, una red confeccionada en su comienzo puede ser altamente imprecisa después. También el hecho de que las actividades estén muy especificadas tiende a limitar la flexibilidad que se requiere para manejar situaciones cambiantes a medida que el proyecto progresa.

## CAPÍTULO 5 PRODUCCIÓN DE ROBOTS

### 5.1 DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Para el desarrollo de las actividades en el diseño y construcción de un robot móvil, se tiene que tener en cuenta la secuencia de actividades, la red de actividades y la ruta crítica, obtenidas anteriormente:

- (A) Diseño de un robot móvil
- (B) Construcción de la tarjeta de sensado
- (C) Construcción de la tarjeta con motores
- (D) Construcción de la tarjeta de potencia y alimentación
- (E) Construcción de la tarjeta para regular el voltaje
- (F) Construcción de la tarjeta con el control.
- (G) Evaluación del robot móvil

A continuación se explica el significado de cada una de estas actividades:

#### **(A) Diseño de un robot móvil**

Para diseñar un robot móvil se requiere conocer las especificaciones del tipo de robot móvil que se desea.

**Especificaciones:**

El tamaño del robot será el de un micro-robot para que su valor no sea demasiado. El robot contará con una caja de plástico para poder llevar y traer cartas, oficios, invitaciones, recordatorios, etc. Contará con tres sensores para poder seguir una línea, pero también podrá ser capaz de manejar rutas programadas. Las vueltas las dará haciendo que las llantas giren en direcciones opuestas. El control del robot se hará con el uso de dispositivos lógicos programables. El mapa conceptual del robot, se observa en la figura 5.1.1. El robot será diseñado mediante bloques funcionales, a fin de facilitar su reparación. Para cada uno de los bloques funcionales se construirá una tarjeta, para posteriormente ensamblarlas y hacer los ajustes necesarios. Los bloques funcionales se pueden observar en la figura 5.1.2

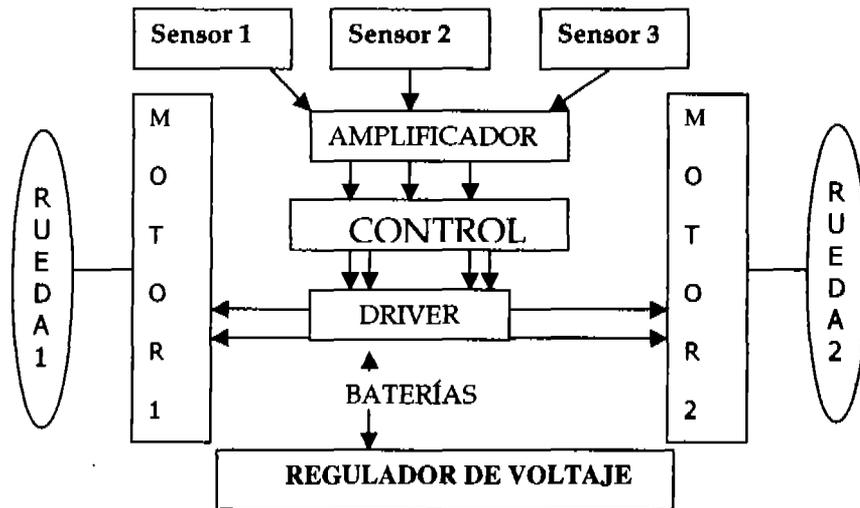


Figura 5.1.1. MAPA CONCEPTUAL DEL ROBOT MÓVIL

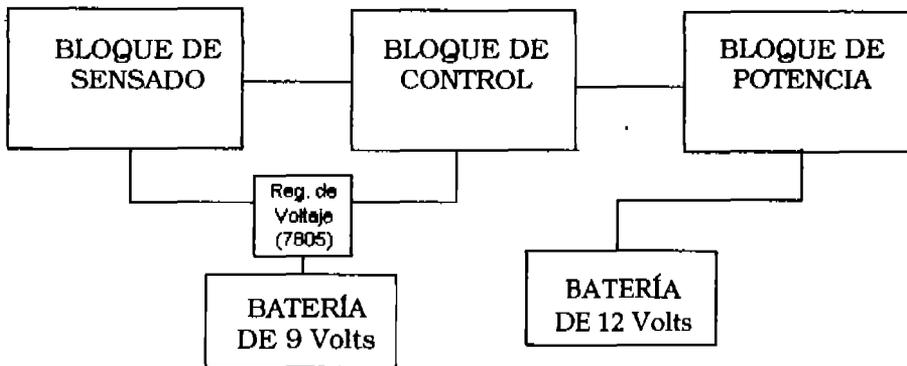


Figura 5.1.2. BLOQUES FUNCIONALES DEL ROBOT MÓVIL

Del análisis de las dos figuras anteriores los requerimientos para la construcción del robot son:

- Construcción de tarjeta de sensado
- Construcción de plataforma para el manejo de los motores
- Construcción tarjeta de potencia
- Construcción tarjeta reguladora de voltaje
- Construcción tarjeta con el control de lógica programable

### (B) Construcción de la tarjeta de sensado

Esta tarjeta maneja el bloque funcional de los sensores, los cuales simulan los ojos del robot, el robot cuenta con tres sensores de tipo fotoreflexor. Este tipo de sensor está compuesto de un led infrarrojo y un fototransistor. La función que se busca con este tipo de sensores es interactuar con el medio ambiente de acuerdo a la intensidad de luz que incide en ellos, el objetivo que se persigue, es que el robot realice acciones programadas de acuerdo con la lectura que se encuentre en estos sensores. Cada sensor contiene un leds infrarrojo y un fototransistor. El leds infrarrojo lanza un rayo sobre la superficie y el fototransistor detecta el reflejo y envía una señal específica, en función de la magnitud del reflejo de dicho rayo. Así, la señal obtenida sobre una superficie oscura estará bien diferenciada de una obtenida sobre una superficie clara.

El control de ambas señales se lleva cabo a través de potenciómetros, y la digitalización de las señales se efectúa mediante amplificadores operacionales. En la figura 5.1.3a, se ve el circuito equivalente de un fototransistor. Se observa que está compuesto por un fotodiodo y un transistor. La corriente que entrega el fotodiodo, circula hacia la base del transistor y se amplifica  $\beta$  veces, y esa es la corriente que puede entregar el transistor. El diagrama de interconexiones totales requeridas para la construcción de esta tarjeta puede observarse en la figura 5.1.3b.

Es importante recordar que las señales que salen de las tres líneas de la tarjeta de sensado, manejan lógica negada.

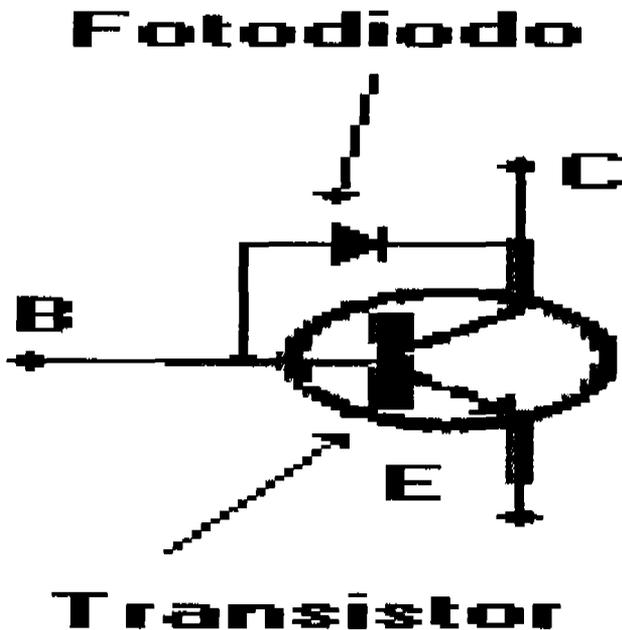


Figura 5.1.3a. FOTOTRANSISTOR

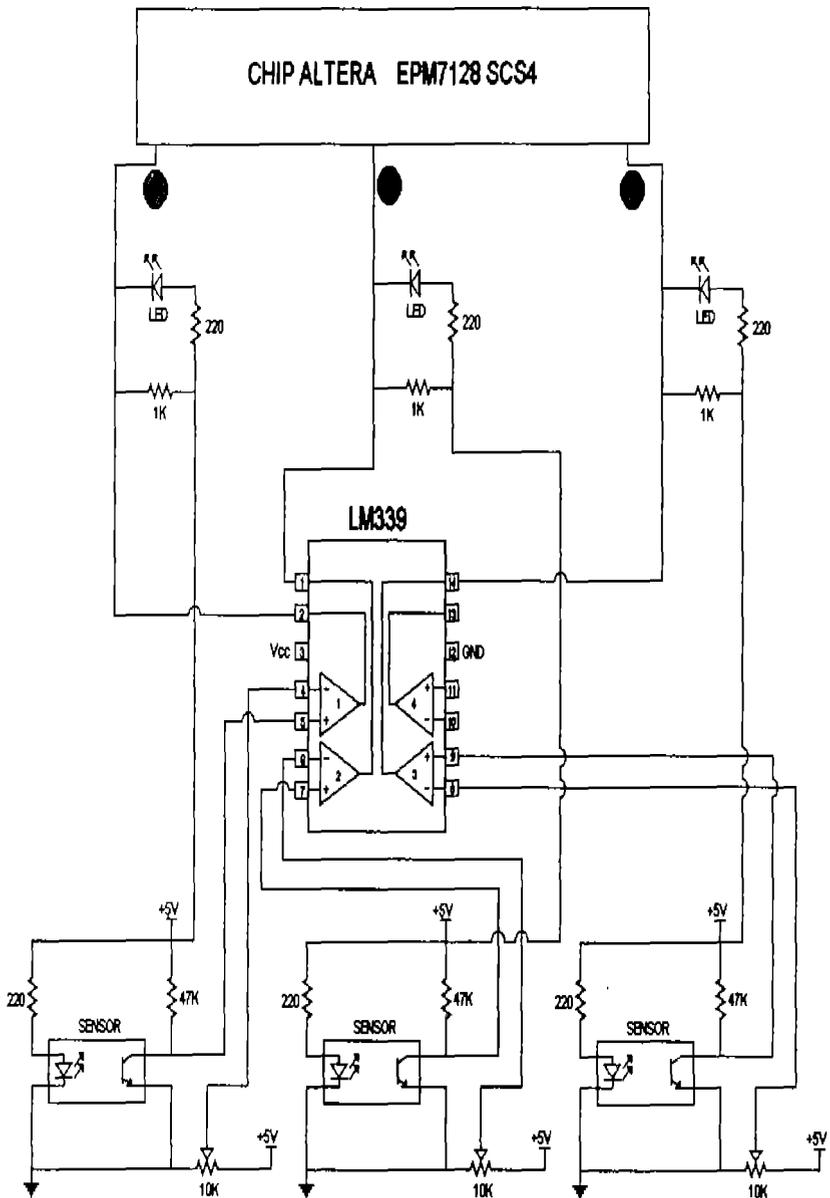


Figura 5.1.3b. DIAGRAMA DE LA TARJETA DE SENSADO

### (C) Construcción de plataforma para el manejo de motores

La función de esta plataforma es la de sostener dos motores en su parte trasera, a los cuales se les conecta una llanta a cada uno de ellos, más una rueda de movimiento libre en la parte delantera. El control de desplazamiento de dirección se realiza operando los dos motores; de manera que para hacer avanzar al robot hacia delante o hacia atrás se hacen girar ambos motores en el mismo sentido, y en el caso del giro a la derecha o izquierda, este giro se realiza haciendo funcionar los motores en sentido opuesto, donde el motor que gire hacia atrás será el que mandará en el movimiento del robot. Los posibles movimientos, tanto de los motores como del robot se presentan en los esquemas contenidos en la figura 5.1.4. Donde las flechas simulan la dirección de los motores y las palabras adentro de los rectángulos indican el movimiento del robot.

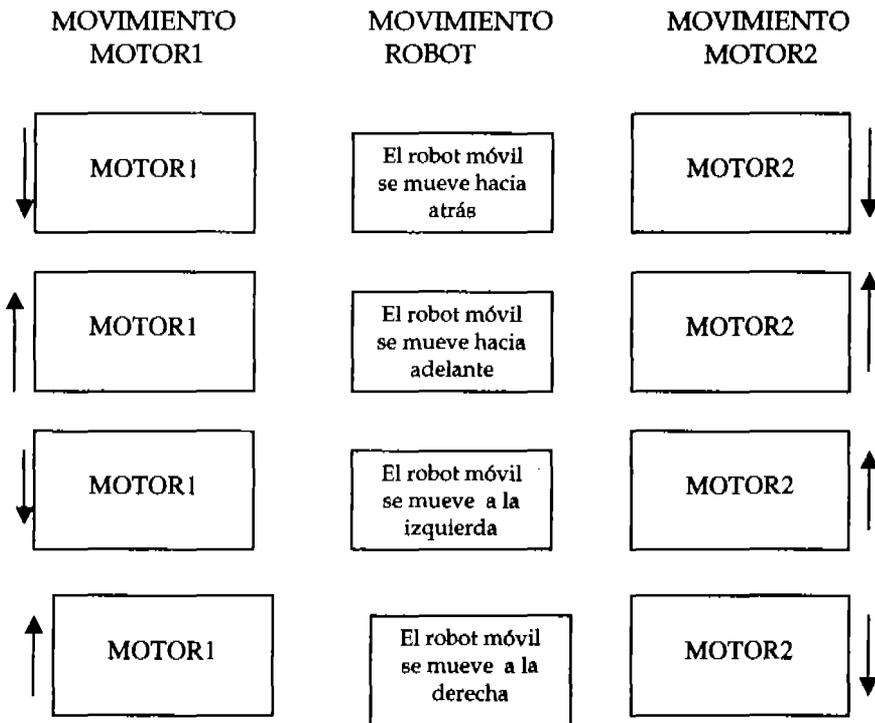


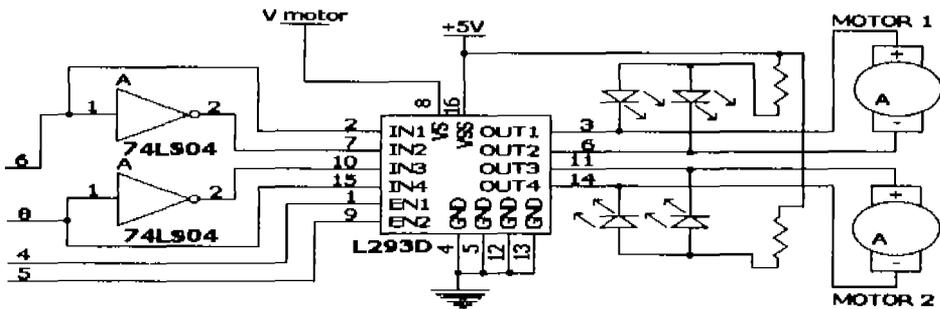
Figura 5.1.4. MOVIMIENTOS DE LOS DOS MOTORES Y DEL ROBOT MÓVIL.

### (D) Construcción de la tarjeta de potencia

El objetivo de esta tarjeta es dar potencia a las señales que controlan los motores y que en su conjunto aísla eléctricamente las señales de potencia de las entradas de control. De la variedad de dispositivos electrónicos, se seleccionó el circuito integrado L293B denominado como "push-pull driver" que es un chopper tipo E con amplificador de corriente, este circuito integrado (CI), es capaz de entregar un ampere de corriente por cada canal de salida, ( 4 en cada CI), y controlar hasta dos motores. En la figura 6.6 se observa el diagrama general de conexión de dos motores al CI L293B

VSS es el voltaje de polarización que el driver necesita para funcionar, y por ello debe estar conectado a la salida del regulador de voltaje, que es de 5volts.

VS es el voltaje que se envía al motor cuando la señal de habilitación en este chip se encuentre activada. El driver debe mandar un voltaje al motor lo suficientemente alto para hacerlo trabajar, este driver puede manejar valores de voltaje de entre 0.2 hasta 32 volts, como se observa en las hojas de especificaciones de este circuito integrado, en el caso del robot móvil, cuando se requiera habilitar algún motor, la señal será de 12 volts. Este driver consta de 6 entradas y cuatro salidas. Y si se le conectan dos motores, se tienen por entradas dos enables cada uno para habilitar el funcionamiento de cada uno de los motores, también tiene otras dos entradas que sirven para indicar el sentido de cada uno de los motores, las otras dos entradas se conectan a la salida de dos inversores. El hecho de emplear inversores se justifica en la base del uso de lógica negada empleada en el diseño y programación de la etapa de sensado. Las salidas de este circuito integrado son dirigidas a la alimentación de los motores, así como a cuatro led's indicadores que muestran la dirección en la que los motores están girando. Si el tipo de motor seleccionado por el cliente es servo, se requiere hacerle una adaptación debido a que los servomotores únicamente giran 180grados, por lo que se requiere abrirlos y quitarles los toques mecánicos que tenga. En la figura 5.1.5, se observa tarjeta de potencia con el diagrama eléctrico de las conexiones de los motores y el driver.



Control de 2 Motores de CD

Figura 5.1.5. TARJETA DE POTENCIA.

**(E) Construcción de tarjeta para regular el voltaje y suministro de energía**

Para el suministro de energía se utilizan dos baterías de níquel (NiCa) una de 12 volts utilizada para suministrar potencia a los motores y otra de 9 volts utilizada para alimentar a todos los demás circuitos integrados que contenga el robot móvil. Para tener el voltaje TTL deseado (5 volts) la batería de 9 volts se conecta a un regulador de voltaje antes del suministro de energía a los circuitos integrados. Las tierras de todos los circuitos integrados deben estar aterrizadas en el mismo punto, de lo contrario no funcionará el robot móvil. Para la regulación del voltaje, se utiliza el regulador cuyo número es "7805", el cual cuenta con tres terminales una es la entrada del voltaje que se desea regular, en este caso se conecta al positivo de la batería de 9 volts, la terminal situada en el centro debe ser conectada a la tierra común y la otra terminal, que es la salida del regulador, queda fija a un voltaje de 5 volts, para polarizar a todos los circuitos integrados. Se requiere conectar dos capacitores de 0.1mf para eliminar el rizo existente en la fuente principal. En la figura 5.1.6, se observan las tres terminales del regulador de voltaje además de una breve descripción de este regulador, y en la figura 5.1.7, se tiene el diagrama eléctrico de la tarjeta de regulación de voltaje.

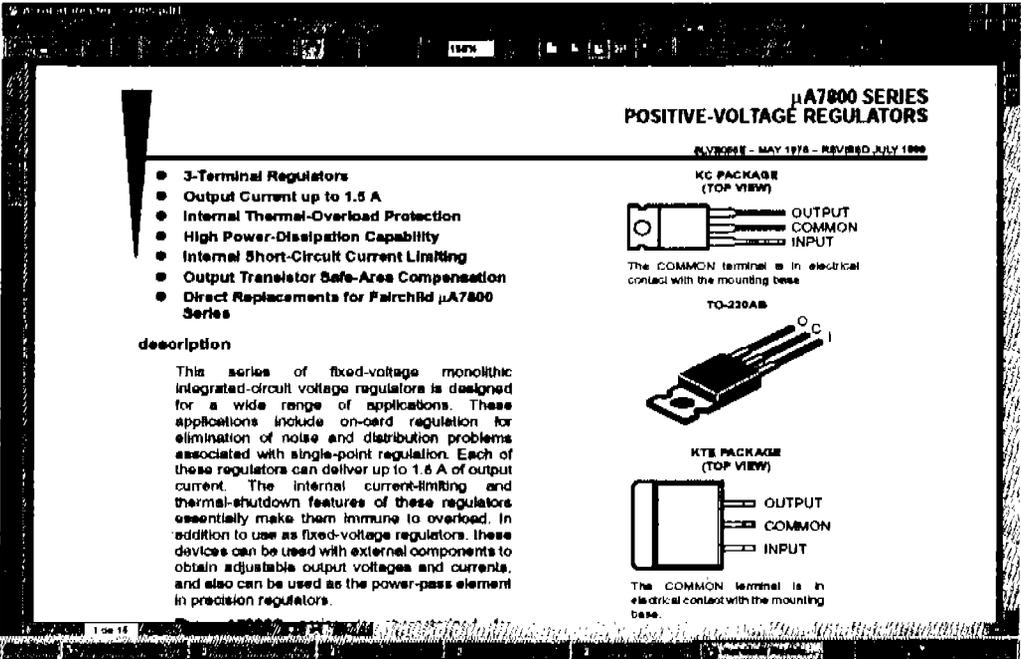


Figura 5.1.6. REGULADOR DE VOLTAJE (7805).

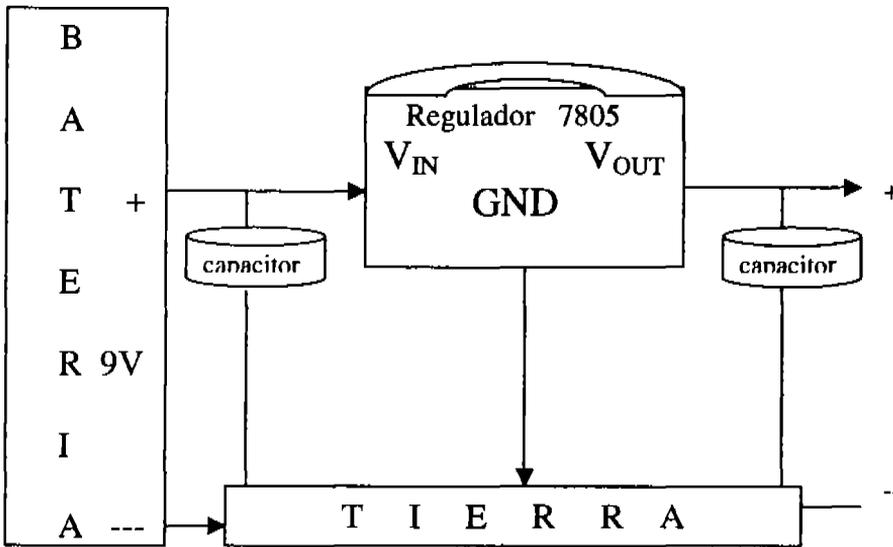


Figura 5.1.7. DIAGRAMA ELÉCTRICO DE LA TARJETA DE REGULACIÓN DE VOLTAJE

**(F) Construcción de la tarjeta con el control.**

Para la construcción de esta tarjeta es necesario el análisis de la toma de decisiones y tipos de controles programables. Para el análisis de la toma de decisiones, se requiere analizar las entradas que le llegan al control proveniente de los sensores y las salidas que son las que manejan tanto el prendido y apagado de los dos motores, como el sentido de giro en el que trabaje cada motor. Este análisis se hace utilizando una tabla de verdad. Debido a que dependiendo de los valores que se obtengan del amplificador, que éste a su vez obtenga esos valores de las salidas de los sensores, el control manda ciertas salidas al driver para que este controle a los motores, tomando en cuenta que las señales de los sensores utilizan lógica negada.

La asignación de variables, tanto a los sensores como a los motores, puede observarse en la figura 5.1.8 y para hacer la asignación se debe colocar al robot en la forma similar a la que se muestra en la misma figura.

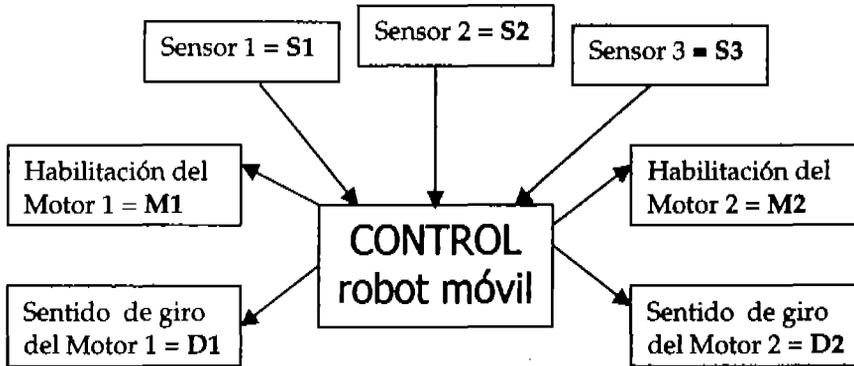


Figura 5.1.8.. Asignación de variables a entradas y salidas del control

Los sensores están representados de la siguiente manera:

- Sensor derecho = S1
- Sensor de en medio = S2
- Sensor izquierdo = S3

El significado de las señales de salida del control del robot móvil, es el siguiente:

- Señal de habilitación del motor derecho = M1
- Sentido de dirección del motor derecho = D1
- Señal de habilitación del motor izquierdo = M2
- Sentido de dirección del motor izquierdo = D2

## TOMA DE DECISIONES

- Cuando los tres sensores ven la línea blanca, el robot debe caminar para atrás.
- Cuando el sensor izquierdo es el único que ve la línea, el robot debe dar vuelta a la izquierda.
- Cuando el sensor izquierdo y el central ven la línea, también el robot debe dar vuelta a la izquierda
- Cuando el sensor derecho es el único que ve la línea, el robot debe dar vuelta a la derecha.
- Cuando el sensor derecho y el central ven la línea, también el robot debe dar vuelta a la derecha
- Cuando el sensor central es el único que ve la línea, el robot debe caminar para adelante
- Cuando ningún sensor ve la línea, el robot se detendrá.

Existen dos tipos de controles que se pueden manejar con lógica programable

- Control utilizando una memoria "EPROM"
- Control utilizado un "CPLD" o un "FPGA"

A continuación se explica cada uno de estos controles:

### CONTROL UTILIZANDO UNA MEMORIA "EPROM"

Las memorias "EPROM" (Erasable Programmable ROM), se utilizan para almacenar información y constan de tres partes; líneas de dirección, registros y celdas. Las líneas de dirección son utilizadas para interactuar con los registros. Los registros son para almacenar información y están compuestos por celdas. Las celdas sólo pueden guardar un BIT de información.

Las memorias EPROM son las más populares, y su aspecto es muy característico, se presenta como un circuito integrado normal, pero con una cubierta de cuarzo al vacío de forma que el chip pueda ser alcanzado por las radiaciones ultravioletas.

Las "EPROM" se borran exponiéndolas durante unos minutos a rayos ultravioletas, que ponen a cero las celdas de todos los registros contenidos dentro de la memoria, y se graban con un software específico mediante una computadora. Las "EPROM's" son Chip's programables y reutilizables que conservan su contenido hasta que se borran bajo luz ultravioleta. Y tienen una vida de alrededor de cien grabaciones. En estas notas el control se hace utilizando una memoria "EPROM", cuyo número es NMC27C64. Esta memoria cuenta con 13 líneas de dirección y 8192 registros (se puede utilizar cualquier memoria "EPROM", con al menos tres líneas de dirección y 8 registros). Se requiere de tres líneas de dirección para recibir la información proveniente de los tres sensores, por lo que las demás líneas de dirección deben ser enviadas a tierra, para que el control no confunda valores. En las figuras 5.1.9a y 5.1.9.b se muestran, tanto la cubierta de cuarzo con las que cuentan este tipo de memorias como su aspecto. Para el grabado de la memoria "EPROM" se requiere hacer una relación entre cada una de las líneas de dirección y el contenido que se desea. Las líneas de dirección son las líneas provenientes de los sensores, y el contenido es la información necesaria para controlar, tanto el encendido y apagado de los motores como la dirección del giro de los mismos. El contenido de la memoria tiene cuatro celdas más de las que se requieren para controlar a los dos motores, por lo que a las últimas celdas de todos los registros se les asigna el valor de cero. La figura 5.1.10, muestra las direcciones y contenido que se utilizan como control dentro de la memoria "EPROM".



Figura 5.1.9a Ventanita de una EPROM

Memoria "EPROM", con encapsulado de porcelana para evitar calentamiento. Este tipo de encapsulado es mucho más caro que el estándar. El encapsulado estándar es de plástico.



Figura 5.1.9b MEMORIA EPROM

La siguiente tabla muestra el contenido requerido en una memoria "EPROM" y su significado:

Líneas dirección	contenido memoria	Significado
S1S2S3	M1D1M2D2	
000	00000000	Sin movimiento
001	11100000	Giro a la izquierda
010	00000000	Sin movimiento
011	11100000	Giro a la izquierda
100	10110000	Giro a la derecha
101	10100000	Movimiento hacia adelante
110	10110000	Giro a la derecha
111	11110000	Movimiento hacia atrás

Figura 5.1.10 Contenido de la memoria "EPROM".

## CONTROL UTILIZANDO UN "CPLD"

El otro control del robot se basa en el uso de un CPLD (Complex Programmable Logic Device) este chip (circuito integrado) es un dispositivo lógico programable basado en "términos producto", con la configuración de una memoria EEPROM.

Cuenta con 128 macroceldas internamente agrupadas en 8 bloques de arreglos lógicos básicos ( Logic Array Basic ) llamados LAB's de 16 macroceldas cada uno, y una matriz de ruteado llamado PIA ( Programmable Interconnected Array), que permite la total interconexión de todas las macroceldas que se encuentran dentro de él. Este chip cuenta con 64 macroceldas que están directamente asociadas a 64 pines del chip, para conectarse con el mundo externo; las restantes son útiles para la síntesis de lógica intermedia y polarización. Tiene una complejidad equivalente a 2500 compuertas. Lo revolucionario de estos dispositivos es que además de poder ser programado mediante el programador convencional de ALTERA (PL-ASAP2 +PLMJ7000-84), también pueden programarse mediante una interfase tipo JTAG ( Joint Test Action Group), usando 4 pines dedicados y sin necesidad de ser removido de la tarjeta de desarrollo; esta característica se denomina ISP ( In-System-Programming). Para ello la compañía ALTERA ha desarrollado un circuito dentro de un cable denominado ByteBlaster, que por un lado se interconecta con la tarjeta de desarrollo, donde está el dispositivo a programar a través de un conector de 10 pines denominado ISP Conector, y por el otro lado, al puerto paralelo de la computadora donde se esté ejecutando el programa. Este circuito integrado se encuentra en una tarjeta de desarrollo diseñada y construida en el laboratorio de Dispositivos Lógicos Programables de la facultad de Ingeniería La figura 5.1.11, muestra esta tarjeta de desarrollo.

La tarjeta de desarrollo incluye los circuitos propios del ByteBlaster, por lo que para programar el CPLD sólo se requiere que el cable del puerto paralelo de la PC sea conectado al conector CENTRONICS de la tarjeta de desarrollo.

Las características principales de la tarjeta de desarrollo son que tiene dimensiones reducidas, contiene un regulador de voltaje de 1 Ampere, al igual que un generador de reloj de 8MHz que puede ser deshabilitado si se desea; cuenta con una entrada para programar los circuitos integrados 7032S, 7064S ò 7128S o cualquier otro circuito integrado que se ponga en la tarjeta de desarrollo y que sea de la marca ALTERA de 84 pines; cuenta con conectores de expansión que permiten tener acceso a todos los pines del chip dentro de la tarjeta de desarrollo, cuenta con conexión directa a una computadora a través de un cable de impresora paralelo estándar tipo CENTRONICS, un zócalo PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) de 84 pines, un conector CENTRONICS (J5), un conector de salida ISP de 10 pines (U6), un conector de alimentación de 3 pines (J4), dos conectores de entrada/salida de 40 pines (J1 y J2),

un regulador de voltaje LM7805(U5), un disipador para el regulador de voltaje, un oscilador de salida CMOS de 8MHz(U3), un circuito integrado 74LSM44(U4), dos capacitores electrolíticos (C6 y C7), cuatro capacitores cerámicos de desacople estándar (C1 a C4), un capacitor de desacople de montaje superficial (C5), siete resistencias de 33 ohms (R1 a R7), un diodo de protección (D1), cinco llaves tipo interruptor.

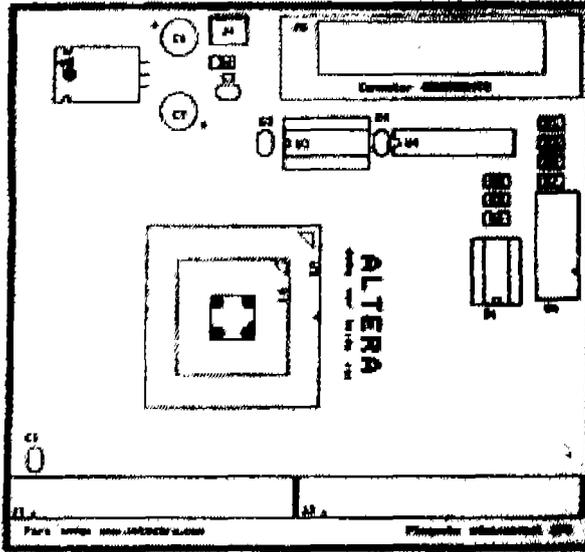


Figura 5.1.11. Tarjeta de desarrollo

### PROGRAMACIÓN DEL CONTROL

Este programa ha sido desarrollado en el lenguaje de programación "VERILOGHDL", que es un lenguaje HDL (Hardware Description Language), este tipo de lenguaje tiene la ventaja de que en cada instrucción se aparta un espacio en el "CPLD" (chip) utilizado. El programa maneja cinco señales de entrada que son las requeridas por el control, las cuales son:

- clk                    señal de reloj
- ISD, ISC, ISI        señales provenientes de los tres sensores.
- reset                    señal de reset.

Las salidas son siete en total y se dividen en dos categorías, las salidas que manejan las señales activadoras y las salidas que manejan señales indicadoras. Es importante hacer esta diferencia porque el control, por ser digital, maneja voltajes bajos, por lo que para activar señales activadoras en las que se requiere el movimiento por ejemplo de un motor se requiere utilizar como interfaz un driver, para aumentar el voltaje de salida y lograr mover el motor.

### SEÑALES DE SALIDA ACTIVADORAS

Cada una de las combinaciones posibles con estas variables realizarán los movimientos básicos para que el Robot siga la pista (adelante, vuelta a la derecha, vuelta a la izquierda y alto).

- **M1, M2**      señales que encienden cada uno de los motores.
- **D1, D2**      señales que indican el sentido del giro de los motores (adelante y atrás)

### SEÑALES DE SALIDA INDICADORAS

**OS1, OS2, OS3**, son señales que se envían a los leds (diodos emisores de luz) e indican la información captada por los sensores (0 = Blanco y 1 = Negro)

Dentro del módulo se establece que las variables de salida de control son registros de memoria, es decir, que los valores permanecen hasta que no exista una nueva modificación. También se declaran otros registros, uno para los ocho posibles estados de la carta ASM, otro para un contador que es el que lleva una cuenta que determina cuándo se detiene el robot (al recorrer una distancia aproximada de 20 cm.), otro para una bandera que se activará cuando el contador anterior llegue al valor en el cual se deba detener el robot, y uno más para el divisor de frecuencias, ya que la tarjeta de desarrollo tiene un reloj interno de 8 MHz.

Por último se define la variable en la que se asignará una de las frecuencias resultantes del divisor. A continuación se presenta el fragmento del programa en el cual se enuncian dichas declaraciones:

```
module
robot6(clk,ISD,ISM,ISI,M1,M2,D1,D2,
OSD,OSM,OSI,reset);
input clk,ISD,ISM,ISI,reset;
output M1,M2,D1,D2,OSD,OSM,OSI;
reg M1,M2,D1,D2;
reg [2:0] estado;
```

```

reg [11:0] contadoralto;
reg "finrecorrido";
reg [19:0] divisor;
wire reloj;

```

```
//0 = Blanco 1 = Negro
```

En seguida se muestran los valores que se asignaron a cada uno de los estados que son definidos como parámetros. Estos valores son algunas de las posibles combinaciones con 3 dígitos binarios, es decir: 000, 001, 010, 011 y 100. Cada una de estas combinaciones nos indicarán los valores que se asignarán a las variables de salida de control, es decir, las que moverán al motor en una dirección determinada.

```

parameter s0 = 4'b000, //alto = 4'b0000
SD = 4'b001, //gira a la derecha = 4'b1101
SM = 4'b010, //gira a la izquierda = 4'b1110
SI = 4'b011, //avanza = 4'b1111
S4 = 4'b100; //alto = 4'b0000

```

Así mismo, a las variables de salida indicadoras se les asigna el valor de las señales de entrada de los sensores para indicar las lecturas de los mismos. De igual manera, a la variable reloj se le asigna el divisor que contiene un valor menor al proporcionado por la tarjeta.

```

assign OSD = ISD;
assign OSM = ISM;
assign OSI = ISI;
assign reloj = divisor[13];

```

La siguiente parte del programa consta de tres submódulos cada uno conteniendo una subrutina "always".

Estas subrutinas se ejecutan en forma paralela, es decir, simultáneamente. Las instrucciones contenidas en cada uno de los bloques se ejecutan de forma secuencial, pero los bloques completos en forma paralela entre sí.

El primer submódulo con una subrutina "always" nos indica que siempre que haya un flanco de subida en la señal de reloj el divisor se incremente en 1.

```

"always" @(posedge clk)
begin
divisor = divisor + 1;
end

```

El segundo submódulo con otra subrutina “always” indica que siempre que se encuentre en algún estado establecido en la sección de parámetros, de acuerdo a cada uno de ellos se asigne un valor a las señales de salida de control.

Para el estado S0 se asignaran los valores siguientes:

M1=0, M2=0, D1=0 y D2=0. Estos valores indican un alto.

Para el estado SD se asignaran los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=0 y D2=1. Estos valores indican vuelta a la derecha.

Para el estado SM se asignaran los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=1 y D2=0. Estos valores indican vuelta a la izquierda.

Para el estado SI se asignaran los valores siguientes:

M1=1, M2=1, D1=1 y D2=1. Estos valores indican que el robot avance.

Para el estado S4 se asignarán los valores siguientes:

M1=0, M2=0, D1=0 y D2=0. Estos valores indican un alto.

```

always @(estado)
begin
case (estado)
s0 : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b0000; end
    //alto
SD : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1101; end
    //derecha
SM : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1110; end
    //izquierda
SI : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b1111; end
    //avanza
s4 : begin {M1,M2,D1,D2} = 4'b0000; end //alto
endcase
end

```

En el último submódulo que también contiene otra subrutina “always” indica que siempre que exista un flanco de subida en la señal de reloj o que la señal de reset esté activada se activa la bandera que indica el fin de recorrido y que se reinicie el contador. Continuando con la secuencia se sensan las variables “finrecorrido”, ISD, ISM e ISI para determinar el estado en el que se debe encontrar de acuerdo a la información proveniente de los sensores, así como las acciones a seguir. Por ejemplo, si “finrecorrido”=0, ISD=0, ISM=0 e ISI=0, las acciones serán:

contadoralto=0            inicializar el contador  
 estado=SI                asignar como estado actual al  
 estado SI.

En la última parte se detecta el caso en el que el robot tiene que hacer un alto total después de cierto intervalo de tiempo con la ayuda del contador y de la bandera "finrecorrido", que hacen posible que se determine cuándo el robot ya ha recorrido aproximadamente 20cm, de discontinuidad en la pista.

```

always @(posedge reloj or posedge reset)
begin
if(reset == 1'b1) begin
finrecorrido = 0;
contadoralto = 0;
end
else begin
case ({finrecorrido,ISD,ISM,ISI}) //ISD ISM ISI
ISI ISM ISD accion //$=blanco
4'b0000 : begin contadoralto = 0; //blanco blanco
blanco $ $ $ avanza
estado = SI;
end
4'b0001 : begin                    //blanco blanco
negro    $ $ derecha
contadoralto = 0;
estado = SD; //derecha
end
4'b0010 : begin
//blanco negro blanco
$ $ derecha
contadoralto = 0;
estado = SD; //derecha
end
4'b0011 : begin estado = SD; //blanco negro
negro        $ derecha
contadoralto = 0;
end
4'b0100 : begin                    //negro blanco
blanco $ $ izquierda
contadoralto = 0;
estado = SM; //izquierda
end

```

```

4'b0101 : begin estado = SI; //negro blanco negro      $ avanza
contadoralto = 0;
end
4'b0110 : begin estado = SM; //negro negro blanco    $ izquierda
contadoralto = 0;
end
4'b0111 : begin          //negro negro negro          avanza
if(contadoralto == 12'b000111011111)
"finrecorrido" = 1;
else
contadoralto = contadoralto + 1;
estado = SI;
end
4'b1111 : begin estado = s4; end //negro negro
negro    alto con fin=1
default : begin estado = s4; end //caso no
considerado se detiene
endcase
end
end
endmodule

```

### SIMULACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DEL ROBOT

Para la simulación en computadora de los movimientos del robot se utiliza un software llamado MAX-PLUS II (Multiple Array matrix-Programmable Logic User System II), que suministra una plataforma múltiple e independiente de una estructura en particular, además de que se adapta fácilmente a las necesidades de cualquier diseño, y por ello ofrece una forma fácil de diseñar y simular proyectos. MAX-PLUS cuenta con herramientas para crear los diseños de una manera jerárquica, poderosa síntesis lógica, compilación, partición, simulación funcional y en tiempo, simulación enlazada con varios dispositivos, análisis de tiempo etc. Max+Plus II incluye once programas de aplicación y el ambiente integrado. Esto se ilustra en las figuras 5.1.12 y 5.1.13, se muestran la plataforma que se utiliza y la simulación de los movimientos del robot.

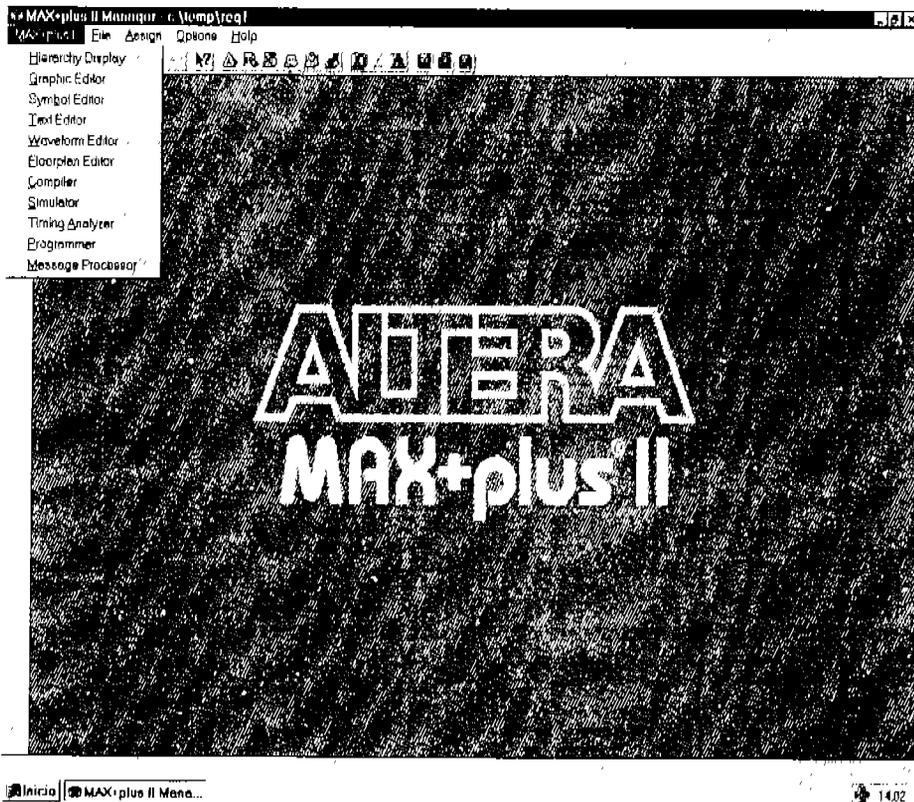


Figura 5.1.12. PLATAFORMA DE "MAX+PLUS II"

En la figura 5.1.12, se muestra el software que se utiliza para simular los movimientos del robot. En esta figura se observa la pantalla principal y las once aplicaciones que maneja. El control del robot está escrito en el lenguaje VERILOG-HDL, el cual se debe escribir en el editor de texto, para posteriormente compilarlo y abrir el editor de forma de onda y hacer la simulación.

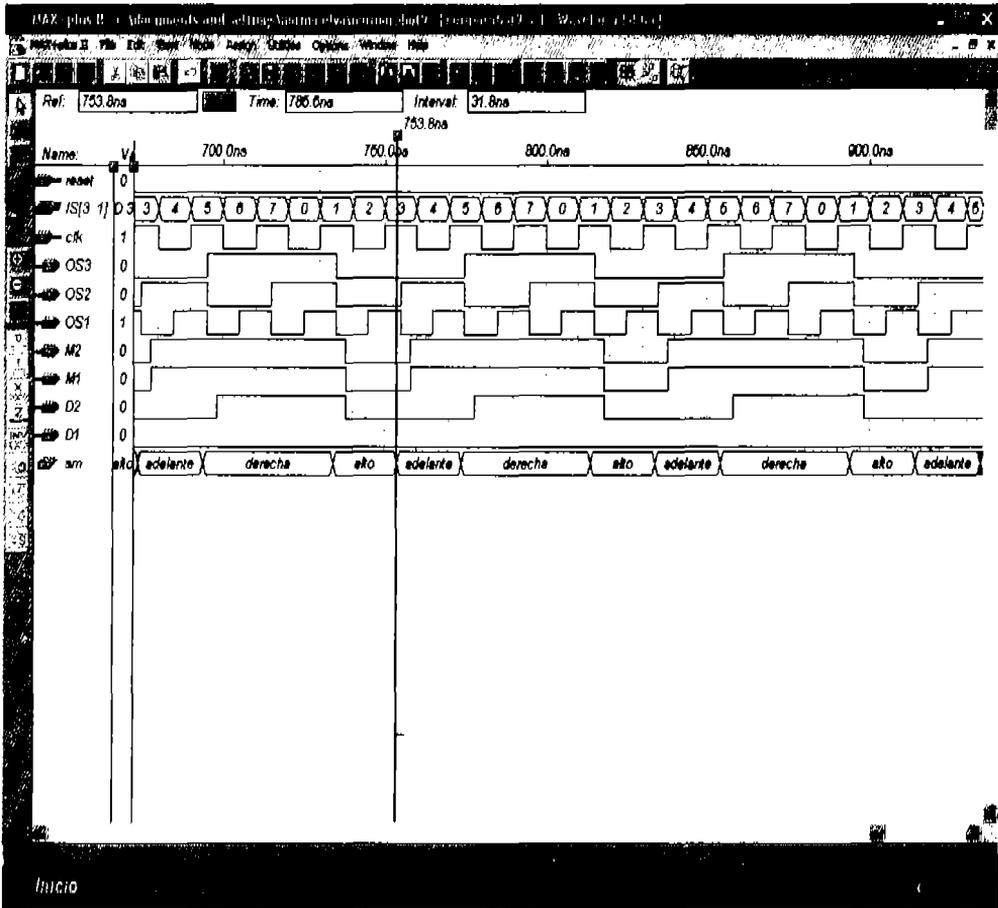


Figura 4.28. SIMULACIÓN DE LAS SEÑALES DE CONTROL DEL ROBOT

La simulación de las señales del robot se muestran en la figura 5.1.13, en la cual cuando se dan los valores a las entradas IS(3..1), reset y reloj , se obtienen los valores mostrados en la variable sm.

## 5.2 PLANIFICACIÓN DE RECURSOS

La planeación de recursos se lleva mediante un sistema de software llamado "MRP" (Materials Requirements Planning) el cual maneja demanda dependiente, y sirve para determinar el número de partes, componentes y materiales requeridos para elaborar un producto. El "MRP" suministra una calendarización con la información necesaria de cuándo hacer los pedidos de partes, componentes y materiales para producir un producto. Para el caso de la producción de robots, primero es necesario hacer un "Árbol estructural de un robot". En el árbol estructural del ( ROBOT ) robot móvil, requiere de los siguientes materiales: (TS) tarjeta de sensado, (TC) tarjeta del control, (TP) tarjeta de potencia, (PM) plataforma para poner motores, (TV) tarjeta reguladora de voltaje, (B) baterías, (X) ruedas, (S) sensores, (A) amplificadores de señal, (J) osciladores, (C) caudín, (U) soldadura, (P) pegamento, (L) acrílicos, (D) driver's, (M) motores, (N) control, (V) regulador de voltaje, (T) resistencias, (A) capacitores, (Z) cables, (K) potenciómetros, (Q) diodos emisores de luz, (I) bases, (I) inversores, para circuitos integrados. La figura 5.2.1, muestra el árbol estructural necesario para la construcción de un robot móvil, el número que se tiene en cada rectángulo, significa el número de ese material que se requiere para producir un robot móvil.

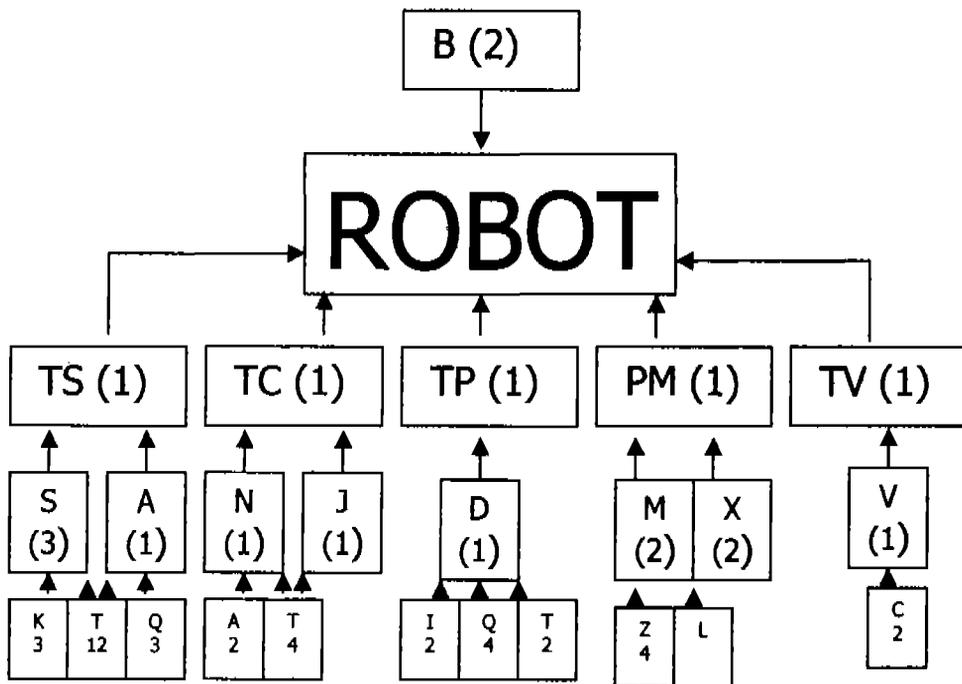


Figura 5.2. 1.ÁRBOL ESTRUCTURAL DEL ROBOT MÓVIL

El tiempo requerido para terminar con cada uno de los bloques mostrados en el árbol estructural del robot móvil de la figura 4.30, se observa en la tabla de la figura 5.2.2.

TIEMPO REQUERIDO	
R	= 2 días
B	= 1 día
TS	= 3 días
TC	= 3 días
TP	= 3 días
PM	= 3 días
TV	= 3 días
S	= 2 días
A	= 2 días
N	= 2 días
D	= 2 días
M	= 2 días
X	= 2 días
V	= 2 días
K	= 1 días
A	= 1 días
J	= 1 días
Q	= 1 días
Z	= 1 días
L	= 1 días
C	= 1 días

Figura 5.2.2. TIEMPO REQUERIDO DE CADA BLOQUE

El plan de requerimientos de materiales para producir 10 robots móviles en 17 semanas se observa en la tabla de la figura 5.2.3.

		S E M A N A S																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
R	Fecha de entrega																	10
R	Requerimiento de materiales															10		
TS	Fecha de entrega														1	10		
TS	Requerimiento de materiales										1	10						
TC	Fecha de entrega														1	10		
TC	Requerimiento de materiales										1	10						
TP	Fecha de entrega														1	10		
TP	Requerimiento de materiales										1	10						
PM	Fecha de entrega														1	10		
PM	Requerimiento de materiales										1	10						
TV	Fecha de entrega														1	10		
TV	Requerimiento de materiales										1	10						
S	Fecha de entrega										3	30						
S	Requerimiento de materiales									3	30							
A	Fecha de entrega											1	10					
A	Requerimiento de materiales									1	10							
N	Fecha de entrega											1	10					
N	Requerimiento de materiales									1	10							
J	Fecha de entrega											1	10					
J	Requerimiento de materiales									1	10							
D	Fecha de entrega											2	20					
D	Requerimiento de materiales									2	20							
M	Fecha de entrega											2	20					
M	Requerimiento de materiales									2	20							
X	Fecha de entrega											2	20					
X	Requerimiento de materiales									2	20							
V	Fecha de entrega											1	10					
V	Requerimiento de materiales									1	10							

Figura 5.2.3. PLAN DE REQUERIMIENTOS DE MATERIALES PARA PRODUCIR 10 ROBOTS

### 5.3. EVALUACIÓN DE LA INVERSIÓN DE UN ROBOT MÓVIL

Para la evaluación de la inversión de un robot móvil es recomendable que se manejen costos de robots de un tamaño medio en lugar de manejar robots de tamaño pequeño, debido a que para hacer pruebas y producción piloto, si está bien por el ahorro en la inversión; sin embargo, para el uso de un robot móvil para mensajería en una empresa, se recomienda que se manejen elementos de tamaño medio, por lo que el costo de un robot móvil que maneje rutas programadas y sirva para el envío y recolección de información en los distintos departamentos de una empresa es de un total de \$12,000 y sustituye a un mensajero. El ahorro anual por esa sustitución es de \$3,500, con una depreciación anual de \$1,200. El costo anual de mantenimiento del robot es de \$500 y su productividad estimada respecto de un mensajero es del 110%. Por lo que para saber el período de tiempo de recuperación de la inversión se requiere aplicar la siguiente fórmula:

$$P = \frac{I}{L - E + q(L + Z)}$$

Donde:

P = Período de tiempo en años que se requieren para recuperar la inversión

I = Total de capital invertido en los requerimientos del robot y sus accesorios

L = Ahorro anual al sustituir a un trabajador por un robot móvil

E = Costo anual de mantenimiento del robot móvil

Z = Depreciación anual

q = Productividad estimada

$$P = \frac{12,000}{3,500 - 500 + 1.1(3,500 + 1,200)} = 1.47 \text{ años}$$

Como puede observarse se requiere de un año, cinco meses y 20 días para recuperar la inversión.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES:

Los objetivos principales de este trabajo eran los de aplicar la dirección de operaciones, en particular la dirección de proyectos, en el diseño y construcción de un robot móvil, como el software llamado "MRP" (Materials Requirements Planning) en la producción de diez robots móviles con rutas programadas según las necesidades de cada cliente.

### LAS VENTAJAS QUE SE OBTUVIERON FUERON LAS SIGUIENTES:

- A) En el diseño y construcción de un robot móvil:
- Al hacer el análisis de tareas se logró identificar como tarea problemática, la calibración de los sensores, por lo que ésta tarea fue considerada la tarea más crítica.
  - Al manejar calidad se logró la mejora en acabado de los robots, y un buen funcionamiento.
- B) En la producción de 10 robots móviles:
- Reducción de costos en los materiales, (circuitos integrados, sensores, motores, llantas, etc.) al poder manejar una economía a escala.
  - Mejora en tiempo de construcción, al enfocar esfuerzos en tareas difíciles, haciéndolas primero.

Las habilidades humanas aportan la motivación y el esfuerzo de equipo necesario para que el proyecto pueda finalizarse a tiempo. Por lo que la producción fue todo un éxito al trabajar en equipo.

El esfuerzo en conjunto invita a trabajar mucho más fuerte, además de la disposición de la Facultad de Ingeniería de estar a la vanguardia y proveer a la comunidad universitaria principalmente, a sus investigadores y alumnos, del manejo simultaneo de dos áreas diferentes llamadas, área suave y área dura como lo son las áreas de Ingeniería de Sistemas y Electrónica.

Además de dejarme grandes satisfacciones personales, así como un crecimiento profesional, gracias al proyecto alcancé un mayor entendimiento del manejo de conceptos tanto en el área suave como en el área dura.

Las conclusiones de esta tesis son satisfactorias ya que la viabilidad del proyecto satisfizo una amplia gama de posibilidades, y se logró el interés en reunir en un proyecto individuos de distintas áreas.

## **IX BIBLIOGRAFIA**

Richard B. Chase, F. Robert Jacobs  
Operations Management  
for Competitive Advantage  
10th Edition  
McGraw-Hill 2004

James A. Fitzsimmons & Mona J. Fitzsimmons  
Service Management Operations  
4th Edition  
McGraw-Hill 2003

Gareth R. Jones and Jennifer M. George  
Contemporary Management  
Third Edition  
McGraw-Hill 2003

Gomez-Mejia-Balkin  
Management  
Third Edition  
McGraw-Hill 2003

Barnett H  
Management  
Third Edition  
McGraw-Hill 1996

Pitman Naylor J,  
Operations Management  
Four Edition  
McGraw-Hill 1996

Norma Elva Chávez Rodríguez  
Plataforma de diseño y lenguaje AHDL  
Departamento de Publicaciones  
Facultad de Ingeniería 2001

Norma Elva Chávez Rodríguez  
Prácticas de diseño con lógica programable  
Departamento de Publicaciones  
Facultad de Ingeniería 2002

Norma Elva Chávez Rodríguez  
Lenguaje de descripción de  
hardware verilog-hdl  
Departamento de Publicaciones  
Facultad de Ingeniería 2003

Altera Corporation  
Embedded programmable logic device family  
Altera Corporation. Santa Clara, 1988.

Altera Corporation  
User configurable logic data book  
Altera Corporation. Santa Clara, 1988.

Coelho, David R.  
The VHDL handbook  
Kluwer Academic Publishers. Bostón, 1989.

Downs, Thomas and' Schuiz, Mark F.  
Logic design with Pascal:  
Computer-aided design techniques  
Van Nostrand Reinhold. New York, 1988

Floyd, Thomas L.  
Fundamentos de sistemas digitales  
Prentice-Hall. Madrid, 1997.

Hayes, John P.  
Diseño de sistemas digitales y microprocesadores  
McGraw-Hill, Inc. Madrid, 1984.

Heath, Steve  
Microprocessor architectures:  
RISC, CISC and DSP  
Butterworth-Heinemann Ltd. Oxford, 1995.

J. Bhasker. Star Galaxy  
A Verilog HDL Primer.  
Second Edition.  
Prentice-Hall, 1999

David Richard Smith, Paul D.  
Verilog Styles for Synthesis of Digital Systems  
Prentice Hall. 2001.

Bob Zeidman, Robert M. Zeidman  
Verilog Designer's Library  
Prentice Hall. 1999.

M. Morris Mano, Charles R. Kime  
Logic and Computer  
Design Fundamentals.  
Prentice Hall. 1999.

John Y. Cheung  
Modern Digital Systems Design  
Ed. West. 1991